

Aus dem Medizinhistorischen Institut
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Anfänge einer biomathematisch
- biophysikalischen Denkweise
in der Physiologie
im Spiegel einiger Arbeiten
Leonhard EULERS
(1707 - 1783)

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Gottfried Kunze
aus Hartbeckerforst

Mainz 1981

1982
-



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552623_0001

Aus dem Medizinhistorischen Institut
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Anfänge einer biomathematisch
- biophysikalischen Denkweise
in der Physiologie
im Spiegel einiger Arbeiten
Leonhard EULERS
(1707 - 1783)

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Gottfried Kunze
aus Hartbeckerforst

Mainz 1981

Das dem Bibliothekar des
des Johannes Gutenberg

Die Abzüge einer handschriftlichen
- handschriftlichen Textes
in der Handschrift
des Johannes Gutenberg
Leiden 1811

Handschriftliche

und ist eine der besten, die
des Johannes Gutenberg
des Johannes Gutenberg



von Johannes Gutenberg
des Johannes Gutenberg

Leiden 1811

Dekan: Professor Dr. K.-H. Bässler

1. Gutachter: Professor Dr. G. Mann

2. Gutachter: Professor Dr. W. Kümmel

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Januar 1982

Die vorliegende Arbeit wurde von
Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. hc. J.-H. Scharf,
Direktor des Anatomischen Institutes des
Bereichs Medizin der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg, vergeben und bis zur inhalt-
lichen und größtenteils auch formalen End-
fassung betreut.

Nach der Übersiedlung des Autors in die Bundes-
republik Deutschland übernahm
Herr Prof. Dr. G. Mann vom Medizinhistorischen
Institut der Johannes-Gutenberg-Universität
Mainz mit ausdrücklichem Einverständnis von
Herrn Prof. Scharf die weitere Betreuung der
Arbeit bis zur vorliegenden Fassung.

Beiden Herren möchte ich schon an dieser Stelle
für ihre Mühe und Zuvorkommenheit aufrichtig
Dank sagen.

Inhalt

1. Einleitung und Problemstellung
2. Bemerkungen zu Leben und Werk Leonhard EULERS
 - 2.1. Basler Jugend und Lehrjahre
 - 2.2. Erste Petersburger Schaffensperiode
 - 2.3. EULERS Wirken an der Berliner Akademie der Wissenschaften
 - 2.4. Zweite Petersburger Schaffensperiode
3. EULERS Versuch einer quantitativen Modellierung und theoretischen Durchdringung der Bewegungsphysiologie des Blutkreislaufs
 - 3.1. Prämissen für EULERS Arbeit auf dem Gebiet der Bewegungsphysiologie des Blutkreislaufs
 - 3.1.1. Wurzeln und Parallelen für EULERS Wirken in der Hydromechanik (physikalische Prämissen)
 - 3.1.1.1. Wurzeln aus der Geschichte der Physik
 - 3.1.1.2. Parallelen zu den EULERSchen Arbeiten in der Hydromechanik im 18. Jahrhundert
 - 3.1.2. Das Wissen um Anatomie und Physiologie des Herzens, der Blutgefäße und um die Bewegung des Blutes bis zur zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts
 - 3.1.2.1. Von der antiken Medizin bis William HARVEY
 - 3.1.2.2. Von HARVEY bis zu den Iatrophysikern und Iatromathematikern des 18. Jahrhunderts
 - 3.2. Die Auswirkungen der physikalischen Arbeiten EULERS zur Strömungslehre und der 'Principia pro motu sanguinis...' auf die weitere Entwicklung der Kreislauflehre
 - 3.3. 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' von Leonhard EULER (1775)
 - 3.3.1. Vorbemerkungen des Übersetzers
 - 3.3.2. Die mit Anmerkungen versehene deutsche Übersetzung
 - 3.3.3. Der lateinische Originaltext nach der Ausgabe von FUSS

4. Weitere Arbeiten EULERS mit physiologischem Inhalt
- 4.1. EULERS Wirken auf dem Gebiet der Optik und seine Erklärung des Sehvorganges
 - 4.1.1. Die Entwicklung der physiologischen Optik bis zur zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts
 - 4.1.2. EULERS Erklärung des Sehvorganges in den 'Lettres à une princesse d'Allemagne'
 - 4.1.3. Die Bedeutung der Briefe EULERS zur physiologischen Optik
 - 4.1.4. Die Briefe 41 bis 44 der 'Lettres à une princesse d'Allemagne' in der deutschen Fassung von KRIES und im französischen Original
- 4.2. Die Erforschung von Ursache und Wirkung der Elektrizität im 17. und 18. Jahrhundert und EULERS Beschreibung der Elektrisierung eines Menschen
 - 4.2.1. Die Entwicklung der Erforschung von Reibungselektrizität sowie tierischer und atmosphärischer Elektrizität bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts
 - 4.2.2. EULERS Beschreibung der Elektrisierung eines Menschen im 146. Brief der 'Lettres à une princesse d'Allemagne'
 - 4.2.3. Die Bedeutung des 146. Briefes
 - 4.2.4. Der 146. Brief der 'Lettres' in der deutschen Übersetzung von KRIES und im französischen Original
- 4.3. 'Meditatio de formatione vocum' - ein Beitrag EULERS zur barocken Phonetik
 - 4.3.1. EULERS Beziehungen zur Phonetik
 - 4.3.2. Zu EULERS Erklärung der Bildung von Vokalen und Konsonanten in der 'Meditatio'
 - 4.3.3. 'Meditatio de formatione vocum' von Leonhard EULER in einer deutschen Übersetzung und im lateinischen Original
- 4.4. Appendix
5. Anmerkungen
6. Literaturverzeichnis

Erläuterungen zu den Quellenangaben

1. Hinweise auf Quellen aus den Werken Leonhard EULERS, die in den von der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft herausgegebenen Opera omnia enthalten sind, werden im Text durch folgende Sigeln gekennzeichnet:

O ... Opera omnia

römische Ziffer ... Serie (bei Serie IV zusätzliche Unterteilung in Serie IV A und IV B)

arabische Ziffer ... Band

arabische Ziffer nach dem Komma ... Seite (bei Zitaten aus dem EULERSchen Text)

römische Ziffer nach dem Komma ... Seite (bei Quellenangaben aus den Einleitungen)

2. Der umfangreiche Briefwechsel EULERS ist in verschiedenen Editionen bisher nur teilweise veröffentlicht. Da seit 1975 mit O IV A 1 der Registerband von allen bislang aufgefundenen Briefen von und an EULER vorliegt, der auch Hinweise auf die vielerorts erschienenen Bände des EULERSchen Briefwechsels enthält und außerdem die Archivregistraturen angibt, verweise ich im Text bei Quellen aus Briefen vorwiegend auf diesen Band. Hinter einem Schrägstrich (/) wird hier nach der Angabe der Seite zur eindeutigen Identifikation des Briefes seine Nummer angefügt.

3. Bei der doppelten Angabe von Daten bezieht sich das in Klammern gesetzte Datum auf den JULIANischen Kalender.

1. Einleitung und Problemstellung

Das Gesamtwerk Leonhard EULERS gehört zu den größten, die je in einem Menschenleben erarbeitet und aufgezeichnet wurden, sei es an Quantität oder an Qualität. Die am 2. Oktober 1907 vom Zentralkomitee der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft ins Leben gerufene EULER-Kommission, die den Auftrag hatte, eine bis dahin aus verschiedenen, vorwiegend finanziellen Gründen als nicht realisierbar angenommene Gesamtausgabe der Werke EULERS der Nachwelt vorzulegen, erarbeitete einen Redaktionsplan für die Herausgabe der 'Opera omnia', der 45 Quartbände vorsah. Inzwischen ist die Anzahl der geplanten Bände der Gesamtausgabe, die etwa 800 der veröffentlichten Werke EULERS mit über 30 000 Druckseiten sowie seine Briefe und seine unveröffentlichten Manuskripte enthalten soll, auf fast das Doppelte angewachsen. Von ihnen sind bis heute noch längst nicht alle erschienen (O I 1, XXXIII). Diese Tatsachen sprechen allein schon für das Gigantische an dem Unternehmen 'Gesamtausgabe', wobei seiner Verwirklichung, die eine enge internationale Zusammenarbeit fordert, weltpolitische Auseinandersetzungen - vor allem in Gestalt der beiden Weltkriege - im Wege standen und die kontinuierliche wissenschaftliche Arbeit bei der Herausgabe der 'Opera omnia' verzögerten (MIKHAILOV 1959, 256).

Es kann nicht anders sein, daß die Aufarbeitung der EULERSchen Werke von Mathematikern und Physikern in Zusammenarbeit mit Historikern vorgenommen wurde und wird: Schließlich bildeten für EULER selbst immer die Mathematik und die Physik das Zentrum seiner gesamten wissenschaftlichen Arbeit, auch wenn er in viele Probleme der Technik und der Nautik, der Philosophie und der Theologie sowie der Musik und der Physiologie vorstieß. Dennoch rechtfertigen der universelle Geist des Schweizer Mathematikers und die Präzision, mit der er jede seiner Arbeiten bis in die damals erreichbare letzte Konsequenz führte, und seine Suche nach neuen Ausgangspunkten für die Lösung vielfältiger Probleme eine eingehende Beschäfti-

gung auch durch andere als mathematisch-physikalische Wissenschaftsgebiete. Dies ist bisher in unterschiedlichem Umfang geschehen: Aus EULERS 'Lettres à une princesse d'Allemagne' wurde in der Übersetzung von Fr. KRIES ein Lehrbuch der Physik und Naturkunde (EULER 1792-1794), andere Auflagen stellten den philosophischen Inhalt der 'Briefe' heraus (EULER 1964). In der Hand von Physikern erhielt die 'Vollständige Theorie der Maschinen, die durch Reaktion des Wassers in Bewegung versetzt werden' im Jahre 1911 eine Neuauflage, die in das Gebiet der Technik hineinführt und weit über das geschichtliche Interesse hinausgeht. Sie stellt eine Anleitung zum optimalen Bau von Turbinen dar (EULER 1911). Als weiteres Beispiel sei auch EULERS "Tentamen novae theoriae musicae" aus dem Jahre 1739 genannt, das in letzter Zeit wieder zunehmende Beachtung findet (VOGEL 1960; BUSCH 1970).

Die vorliegende Arbeit hat nun zum Ziel, Leonhard EULERS scheinbar beiläufiges, abstecherhaftes Wirken auf dem Gebiet der Physiologie zu würdigen. Mit modernen Termini ausgedrückt gilt es, seine Versuche zur theoretischen Durchdringung und quantitativen Modellierung physiologischer Vorgänge im Zusammenhang darzustellen.

Von EULER selbst darf man allerdings für dieses Unternehmen kein allzugroßes Entgegenkommen erwarten: Die Arbeiten, die es zu beleuchten gilt, sind über sein Gesamtwerk - seine wissenschaftliche Korrespondenz einbezogen - verstreut und bilden von der Anzahl der Seiten her gesehen einen verschwindend kleinen Teil desselben. Seine Zeitgenossen haben ihnen, will man von den 'Lettres' absehen, wenig Beachtung geschenkt, und in der Geschichtsschreibung von Medizin und Physiologie spielen sie keine Rolle. In den vorliegenden Arbeiten auf diesem Gebiet - nur eine Ausnahme ist mir bekannt (METTE und WINTER 1968, 223) - ist der Name Leonhard EULER im Gegensatz z.B. zu Daniel BERNOULLI nicht zu finden. Daraus ließe sich folgern, die physiologischen Arbeiten EULERS seien bedeutungslos.

Bedeutung oder Bedeutungslosigkeit wissenschaftlicher Arbeiten lassen sich jedoch selten allein in Äußerlichkeiten, im Echo der Zeitgenossen, in der Popularität und auch nicht allein am Inhalt abwägen. So kann die Bedeutung einer wissenschaftlichen Leistung z.B. allein in der Methodik oder, wie in der vorliegenden Arbeit zu zeigen, in der Anwendung von Erkenntnissen der exakten Naturwissenschaft auf dem Gebiete der sogenannten angewandten Wissenschaften bestehen.

ROTHSCHUH (1959) unternahm den Versuch, wissenschaftliche Leistungen in vier Hauptgattungen zu klassifizieren, allgemeine Maßstäbe zur Beurteilung wissenschaftlicher Leistungen aufzustellen und - als Wagnis - eine Rangordnung derselben anzubieten. Auf dieses gedankliche Modell möchte ich kurz eingehen, weil es eine Möglichkeit bietet, die wissenschaftlichen Arbeiten EULERS auf dem Gebiet der Physiologie in einen Rahmen zu setzen, der eine objektivere Beurteilung erlaubt.

Gelingt es, Erfahrungssachverhalte der Wissenschaft auf Aussagen zu übertragen, die allgemein verbindlichen Charakter haben, dann kann dieser Vorgang mit "Scientifikation" bezeichnet werden. Beiträge der Wissenschaft, die in diesem Sinne einer Scientifikation gerecht werden, unterteilt ROTHSCHUH grob folgendermaßen:

1. in Beiträge, durch welche eine Erweiterung der Erfahrungswelt erfolgt,
2. in Beiträge, durch welche die Erfahrungssachverhalte durch Logifizierung in ein adaequates Gedankenmodell (Hüllgedanke, Hypothese, Theorie, Gesetz) überführt werden,
3. in die Leistungen, die zum wissenschaftlichen Selbstverständnis und zum Selbstverständnis des Menschen beitragen,
4. in die Leistungen, durch welche die technische Beherrschung und Verfügbarkeit der Erscheinungen erreicht wird.

Hier findet man unter Punkt 1 zwei wissenschaftliche Methoden oder Leistungen. Die erste ist die "deskriptive

Mehrung des Beobachtungsgutes", die den Hauptteil der wissenschaftlichen Beiträge auf dem Gebiet der Medizin im 18. Jahrhundert darstellte. Die zweite Art schließt die Erarbeitung von Beziehungen (Relationen) zwischen Naturerscheinungen ein, z.B. "das Wissen um die Bedingungen für ihr Zustandekommen, die Kenntnis vom Zusammenhang der Prozesse im menschlichen Organismus oder die Einsicht in quantitative Beziehungen unter bestimmten physikalischen Größen" (ROTHSCHUH 1959).

Das ist nun genau der Blickwinkel, in dem EULERS Arbeiten auf dem Gebiet der Physiologie im weitesten Sinne gesehen werden müssen und in dem sie zumindest für die Geschichte der Physiologie Bedeutung gewinnen. Wenn EULER -aufbauend auf einer Reihe wissenschaftlicher Erkenntnisse über Bau und Physiologie des Blutkreislaufes (HARVEY 1628, 1649; HALES 1733) - den Versuch unternahm, die "Prinzipien für die Bewegung des Blutes in den Arterien" aufzustellen und seine Methoden aus der Mathematik und der Physik zur Lösung dieses physiologischen Problems heranzog, dann liegt darin ein sehr modernes wissenschaftliches Vorgehen. Betrachtet man aber die Genese der Strömungslehre innerhalb der Physiologie, dann eröffnet eine solche Methodik geradezu die moderne Forschung in der Dynamik des Blutkreislaufes. Im Kapitel 3 soll neben die Übersetzung dieser Arbeit Leonhard EULERS der Versuch gestellt werden, sie in genetischer und effektorischer Geschichtsbetrachtung in die Geschichte der Erforschung der Bewegungsgrößen des Blutkreislaufes einzuordnen.

Ein umfangreiches Bündel an wissenschaftlichen Beiträgen EULERS hat in anderem Sinne große Bedeutung für die Entwicklung von Medizin und Biologie. Es umfaßt vor allem seine Arbeiten über die Optik (O III 3 - 9), in denen z.B. auch Verfahren zum Bau besserer Mikroskope und Verbesserungen der Linsen großen Raum einnehmen. In dem Bemühen um die Herstellung achromatischer Linsen stand EULER in wissenschaftlichem Wettstreit mit dem Engländer John DOLLOND (1706 - 1761), der dann schließlich im Jahre 1753 die ersten verwendbaren achromatischen Linsen-

systeme baute, aber auch viel von den wertvollen EULER-schen Theorien verarbeiten konnte. Das Gesagte zu untermauern, sei an dieser Stelle ein Brief von L. EULER an G. F. MÜLLER vom (19.) 30. Mai 1761 zitiert. EULER schreibt, nachdem die von AEPINIUS (1724 - 1802) in der Konferenz der Petersburger Akademie der Wissenschaften vom 25. 8. 1760 gestellte Preisfrage über die Verbesserung der refraktiven Teleskope und Mikroskope durch ein System von mehreren Linsen mit besonderem Augenmerk auf die Anwendung der Praxis und ihre Untermauerung durch Versuche von dem Engländer DOLLOND durch seine Abhandlung "An account of some experiments concerning the different refrangibility of light" ausreichend beantwortet und mit dem Preis bedacht war, folgendes:

"Mr. LA CAILLE muß die Sach nicht recht einsehen, wenn er glaubt, daß Mr. DOLLOND der von der Kaiserl. Academie vorgelegten Frage ein Genüge geleistet. Ich kenne denselben sehr wohl, und bin lang mit ihm in Correspondenz gewesen. Von der Theorie hat er gar keine Kännntnüss, hat aber nach den ihm von mir zugeschickten Vorschlägen mit der größten Sorgfalt gearbeitet, und wie er selbst bekennt, nach einer unzehligen Menge Versuche endlich zwei Gläser herausgebracht, welche zusammen ein vollständiges Objectif darstellen. Die Hauptsach kommt hier freylich auf die Accuratesse im Schleiffen an..." (JUSKEVIC und WINTER 1959, 173).

Die Klagen über die Unvollkommenheit des Petersburger Linsenschleifers ändern allerdings nichts daran, daß allein DOLLOND die ersten praktisch verwertbaren achromatischen Linsen erarbeitete (LAUE 1947, 35). Die Rechtschaffenheit EULERS im Umgang mit dem geistigen Gut anderer läßt aber doch ausschließen, daß sich EULER hier in seinem geleisteten Beitrag überbewertet. Die Verfeinerung der Linsentechnik und die dadurch erzielte Verbesserung der Mikroskopie ermöglichten es der Medizin und der Biologie ebenso wie den anderen Anwendungsreichen in Naturwissenschaft und Technik, "neue Seiten

oder gar Dimensionen der Wirklichkeit der Beobachtung zu erschließen", und stellen somit erweiternde Leistungen für die Forschungsaufgaben der Wissenschaft dar (ROTHSCHUH 1959). Diese wissenschaftlichen Leistungen können in das von ROTHSCHUH (1959) angegebene Modell der "vier Hauptgattungen wissenschaftlicher Leistungen" ebenfalls in die erste Gattung eingeordnet werden, genügen aber auch der Gattung 4, die die Beiträge einschließt, die den "Weg von der reinen Wissenschaft mit ihren Erkenntniszielen zur angewandten Wissenschaft mit ihren praktischen Zielen, also zur Technik, zur Wirtschaft, zur Medizin usw. öffnen". Der letztlich aber doch indirekte Charakter dieser Arbeiten EULERS für die medizinischen Wissenschaften bedingt, daß sie in der vorliegenden Arbeit keine eingehende Analyse erfahren können.

In zusammenfassender lehrbuchartiger Darstellung entwickelte EULER sein Wissen um den Bau des Auges und um die Physiologie des Sehvorganges in den 'Lettres à une princesse d'Allemagne'. Sein "Bemühen um theoretische Deutung von Sachverhaltskomplexen" (in Gattung 2 nach ROTHSCHUH (1959) einzuordnen) veranlaßte EULER, hier bis zum Versuch einer Erklärung des Sehvorganges vorzudringen. Die vier 'Briefe' über die physiologische Optik sollen im Kapitel 4.1. Gegenstand der geschichtlich einordnenden und inhaltlich wertenden Erörterung sein.

Ausgehend von seiner die Erscheinungen der Elektrizität erklärenden Äthertheorie gelangte EULER zu einer weiteren physiologischen Fragestellung, zum Verhalten des menschlichen Körpers bei Elektrisierung durch die Leidener Flasche. Diesem Thema war sein 146. Brief der 'Lettres' gewidmet; seine physikalischen und physiologischen Anschauungen auf dem Gebiet der Elektrizität sollen in Kap. 4.2. besprochen werden.

Die Neigung EULERS, von der Welt der unbelebten Materie immer wieder "Seitensprünge" ins Belebte, ins Biologische zu unternehmen, wobei er - wie die Arbeit 'Principia

pro motu sanguinis per arterias determinando' deutlich zeigt - an den Rand des Auflösungsvermögens geriet, das ihm die wissenschaftlichen Methoden und technischen Möglichkeiten sowie der gesellschaftliche Hintergrund des 18. Jahrhunderts zu geben vermochten, kommt in seinem schriftlichen Nachlaß, wenn auch verstreut und sporadisch, immer wieder zum Ausdruck. So diskutierte er in seinem Briefwechsel mit Ch. BONNET (1720 - 1793) über das Problem der Reproduktion von Lebewesen (O IV A 1, 60/288), vertrat demselben Wissenschaftler gegenüber seine Ansicht darüber, daß Empfindungen nicht an die Funktion einer bestimmten Nervenfaser gebunden seien (O IV A 1, 60/286), und äußerte mehrfach sein Interesse und seine wissenschaftliche Wertschätzung für das entwicklungsbiologische Wirken von C. F. WOLF (1734 - 1794) (O IV A 1, 61/296). Die Physik der Schwingungen von Saiten oder von Luftsäulen in Röhren, allgemein also die Akustik als physikalische Disziplin, führte EULER zur Physiologie der Lautbildung. Eine Arbeit auf dem Gebiet der Phonetik liegt mit der 'Meditatio de formatione vocum' vor und soll in Kap. 4.3. in einer deutschen Fassung vorgelegt werden.

Als Appendix sei der vorliegenden Arbeit in Kap. 4.4. ein Auszug aus dem Briefwechsel zwischen L. EULER und Ch. GOLDBACH angefügt, der eine spekulative Auffassung über die Teilbarkeit der Blutkörperchen in eine Reihe von Sechselementen einer mathematisch-physikalischen Kritik unterzog.

Um eine bessere Zuordnung der einzelnen, hier interessierenden Arbeiten des großen Schweizer Mathematikers zu seinem persönlichen Werdegang zu ermöglichen, sei mit Kap. 2. dem speziellen Teil eine kurze Übersicht über Leben und Werk von Leonhard EULER vorangestellt.

Sollte es mit dieser Arbeit zu zeigen gelingen, daß EULERS Beschäftigung mit der Medizin sich bei weitem nicht darin erschöpfte, Rezepte "Remedium contra hydro-

pin" oder "blonde Haare schwarz zu machen" in seinen Tagebüchern (MIKHAĬLOV 1959, 279) auf- oder gar abzuschreiben, sondern einen Beitrag innerhalb der Geschichte der Medizin darstellt, der seinen genau zu ortenden Platz und seine exakt zu definierende Bedeutung hat, dann wäre ihr Ziel erreicht.

2. Bemerkungen zu Leben und Werk von Leonhard EULER

Eine Biographie EULERS kann hier nur kurz und abrißartig dargestellt werden. Neben einer Zuordnung seiner physiologischen Arbeiten zum persönlichen Werdegang soll dieser Abriß auch die Beziehungen EULERS zur Physiologie beleuchten, die sich aus den Kontakten mit seinen Zeitgenossen ergaben.

Ausführliche Schilderungen des Lebens des großen Schweizer Mathematikers finden sich in unterschiedlichem Umfang bei einer Reihe von Autoren (BRAUMÜHL 1908; DEBORIN 1935; FELLMANN 1975; FUETER 1948; GILLISPIE 1971; POGGENDORFF 1863; SPEISER 1934 und 1939; SPIESS 1929; TRUESDELL 1972; WINTER 1957). Quellen zur Biographie bieten sich ferner bei EULER selbst in seinem 'Diarium' (MIKHAÏLOV 1959, 275), in seinem umfangreichen Briefwechsel¹⁾, in Berichten von Zeitgenossen (CONDORCET 1786; FUSS 1785) sowie in den Protokollen der Berliner und der Petersburger Akademie der Wissenschaften.

Durch den Wechsel seiner Wirkungsstätten hat EULER seinem Leben mehrere Caesuren gesetzt, sie sollen diesen Abschnitt gliedern.

2.1. Basler Jugend und Lehrjahre

In Birs im Konton Basel am 15. April 1707 geboren, siedelte Leonhard EULER schon ein Jahr später mit seinen Eltern anlässlich der Neubesetzung der dortigen Pfarre durch seinen Vater nach Riehen bei Basel um. Der Vater, Paul EULER, hatte Gelegenheit, in Basel bei Jakob BERNOULLI (1655 - 1705) Mathematik zu hören und widmete sich dieser Nebenbeschäftigung mit großem Interesse. So förderte er auch den frühzeitig schon Talent für die Lösung mathematischer Probleme zeigenden Leonhard und ließ ihn Vorlesungen bei dem jüngeren Bruder Jakobs, der im Jahre 1705 auch dessen vakant gewordene Professur in Basel übernahm, nämlich bei Johann (I) BERNOULLI (1667 - 1748) hören. Das Jahr 1720

brachte für Leonhard die Immatrikulation an der Philosophischen Fakultät der Basler Universität, an der er sich in den folgenden Jahren vorwiegend dem Studium der Philosophie, der Sprachen und der Theologie widmete, ohne aber seine Liebe zur Mathematik preiszugeben. Vielmehr nötigte er den Vater - inzwischen auch durch Selbststudium und sonabendliche Förderungsstunden bei Johann BERNOULLI, dessen Söhne er zu Freunden gewinnen konnte, in der Mathematik und wohl auch in der Physik gut voran gekommen - die Einwilligung für das ungeteilte Studium von Mathematik und Physik zu geben und ihn damit gleichzeitig von seiner geplanten theologischen Laufbahn zu dispensieren. So hatte Leonhard EULER nach Erlangen der Magisterwürde am 8. Juni 1724 (er hielt eine öffentliche Rede über den Unterschied zwischen der CARTESISchen und der NEWTONschen Philosophie) nur kurze Zeit Theologie studiert, um sich dann lebenslang der Naturwissenschaft zu widmen; allerdings verfaßte er bei der stets bewahrten geistigen Universalität auch theologische Schriften (EULER 1747).

Im Jahre 1727 erhält EULER das Accessit für die Beantwortung der Preisfrage der Pariser Akademie der Wissenschaften nach der günstigsten Bemastung von Schiffen als Ausdruck einer ersten internationalen Anerkennung. Seit 1725 bemühte er sich schon um eine Stellung an der Basler Universität, und als im Jahre 1727 der Lehrstuhl für Physik vakant wurde, bewarb er sich dafür, hatte aber wegen seiner Jugend (er war erst 20 Jahre alt) keine Chance auf den Posten. Nikolaus (1695 - 1726) und Daniel BERNOULLI (1700 - 1782) waren im Herbst 1725 nach St. Petersburg gegangen und leiteten an der dortigen jungen Akademie die mathematisch-physikalische Klasse. Um ihrem Freunde Leonhard eine ähnlich vorteilhafte Stellung zu verschaffen und ihn damit in ihre Nähe folgen zu lassen, rieten sie ihm, den Lehrstuhl für Physiologie an der Petersburger Akademie anzunehmen. Dieser Rat kam nicht von ungefähr, immerhin hatte die Mathematikerfamilie BERNOULLI schon eine gewisse Tradition in der Beschäftigung mit der Medizin im allgemeinen und mit der Physiologie im besonderen: Sowohl der Vater Johann als

auch der Sohn Daniel BERNOULLI waren mit Dissertationen über physiologische Themen in der Medizin promoviert und hatten sicherlich auch schon zeitig Leonhard EULER angeregt, mathematische Methoden in der Physiologie anzuwenden. Wissenschaftliche Arbeiten auf diesem Gebiet sind von diesem Zeitraum aus der Feder EULERS allerdings nicht bekannt.

So kam es, daß sich EULER im Jahre 1726 an der Basler Universität dem Studium von Anatomie und Physiologie widmete. Am 2. April 1727 lesen wir noch in seinem "Diarium": "...Schrieb mich bei H. Dr. ZWINGER in Faculta Medica ein..."; schon drei Tage später aber berichtet er: "Morgens um halb 9 Uhr reiseten wir auf dem Rhein von Basel weg...", und zwar folgte er nun endlich der Einladung der beiden Petersburger BERNOULLIs und erreichte am 21. Mai 1727 "Chronstatt" (MIKHAÏLOV 1959, 275)^{2) 35)}.

2.2. Erste Petersburger Schaffensperiode

Petersburg drohte schon bald nach der Ankunft EULERS zu einer Enttäuschung zu werden. Zwar war er zum Adjunkten der mathematischen Klasse ernannt worden, was seinen Neigungen und Studienplänen mehr entsprach als die Physiologie, aber einmal hatte er den Verlust des Freundes Nikolaus BERNOULLI zu beklagen, andererseits drohte das Schicksal der Petersburger Akademie der Wissenschaften nach dem Tode der Kaiserin KATHARINA I. in die Hände kurzsichtiger und rein pragmatischer Schirmherren zu geraten, denen die Akademie mit ihren wenig vordergründigen Forschungen nur eine an Nutzen arme, Geld verschlingende Institution war. Eine Stellung bei der russischen Marine war schon im Angebot, um ihn vor der Mittellosigkeit zu bewahren, als sich das Blatt wieder wandte, und Leonhard EULER 1730 an die unter der Protektion der Zarin ANNA (1693 - 1740) wieder gefestigte Akademie zum Professor der Naturlehre berufen wurde.

Als dann im Jahre 1733 sein wohl engster Freund Daniel BERNOULLI, mit dem ihn darüber hinaus eine großartige

geistige Verwandtschaft verband, die Petersburger Akademie mit dem Ziele verließ, eine vorteilhafte Stellung in seiner Heimatstadt Basel anzunehmen, wurde EULER sein Nachfolger als Professor für Mathematik. Ein geradezu unübersehbares Arbeitsfeld erwartete ihn: Nach den großen wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Mathematik und der Physik der vorangegangenen beiden Generationen, für die die Namen LEIBNIZ, NEWTON, HUYGENS, BERNOULLI, TAYLOR und FERMAT stehen sollen, galt es, deren Gedanken gut zu erweitern, es auf einen Kreis praktischer Anwendungen zu erproben, Licht in noch so manche Unklarheit im Definieren mathematischer und physikalischer Begriffe und im Interpretieren von Gesetzmäßigkeiten zu bringen sowie den erforschten Stoff in didaktischer Klarheit in Form von Lehrbüchern neu zu formulieren.

Ich möchte an dieser Stelle den Versuch unternehmen, das eben Gesagte noch einmal mit anderen Worten, mit den Begriffen von KUHN (1967, 28) auszudrücken. Sie scheinen mir die geistige Situation der Zeit, in die EULERS Forschungen eingebettet waren, recht klar zu beleuchten: Durch die wissenschaftlichen Leistungen eines NEWTON oder LEIBNIZ z.B. war der Wissenschaft des 18. Jahrhunderts ihr Paradigma gegeben, d.h. ihre Leistungen waren einerseits "beispiellos genug, um eine beständige Gruppe von Anhängern anzuziehen, hinweg von den wetteifernden Verfahren wissenschaftlicher Tätigkeit, und gleichzeitig offen genug, um der neu bestimmten Gruppe von Fachleuten alle möglichen Probleme zur Lösung zu überlassen". Nach der Bestimmung signifikanter Fakten innerhalb eines Musters, des Hüllgedankens, gilt es, die gegenseitige Anpassung von Fakten und Theorie herbeizuführen. Am Ende dieses Prozesses steht die Präzisierung der Theorie (SCHIPPÈRGES 1971, 128). Anpassung von Fakten und Theorie und Präzisierung der Theorien auf dem Gebiet der Infinitesimalrechnung, der Lehre von der Natur der Zahlen, der Mechanik, der Optik, der analytischen Geometrie, der Astronomie sowie der Lehre von der Natur der Körper sind neben den vielen originellen Leistungen spätestens von nun an das Hauptarbeitsgebiet, dem sich EULER mit unbeschreiblichem Fleiß widmete.

Im Jahre 1735 erblindete EULER durch eine schwere entzündliche Erkrankung auf dem rechten Auge³⁾. Ein Jahr später schon erschien sein erstes großes Werk, die zweibändige "Mechanik" (EULER 1736), seine Schaffenskraft schien von diesem persönlichen Schicksalsschlag unberührt. Es sei erwähnt (s. auch Kap. 4.1.), daß das Auge nicht nur in seinem Leben eine besondere, hier schicksalshafte, Bedeutung hatte, sondern auch in seinem Werk immer wieder eine hervorragende Stellung einnahm: Es stellte für ihn das vollendetste optische System dar, dessen Perfektion er in seinen physikalisch-optischen Forschungen und technischen Problemstellungen nacheifern wollte. Später in den in Berlin entstandenen "Lettres à une princesse d'Allemagne" zeigte EULER, daß er sich neben der Anatomie auch mit der Physiologie des Auges eingehend beschäftigt hatte (s. Kap. 4.1.).

Die nächsten fünf Jahre seines ersten Petersburger Aufenthaltes waren weiterhin ausgefüllt mit einer Vielzahl von Abhandlungen, die er der Akademie vorlegte: Über die Theorie der krummen Linien, bei der ihm seine Verbesserungen und Erweiterungen der Infinitesimalrechnung beste Dienste leisteten, die Lehre von den Eigenschaften der Zahlen, der unendlichen Reihen, der Bewegung der himmlischen Körper "und viele andere Untersuchungen, davon der hundertste Theil zugereicht haben würde, jeden anderen berühmt zu machen... Was aber EULERS Ruhm vollendete und seine große Überlegenheit in der Analytik außer allen Zweifel setzte, war die Auflösung des durch den Streit zwischen den beiden Brüdern Jakob und Johann BERNOULLI so berühmten Isoperimetrischen Problems, welches jeder der eben genannten großen Mathematiker aufgelöst haben wollte, obschon es keiner in seinem ganzen Umfange kannte" (FUSS 1785, LVIII). In diese Zeit fiel auch EULERS, oberflächlich betrachtet, wohl fachfremdestes Werk: der Versuch einer neuen Theorie der Tonkunst (O III 1, 197 - 427). Dieser 1739 erschienene Titel wurde von FUSS als eine Frucht der Erholungsstunden seines Lehrers bezeichnet. Die geringe Beachtung der EULERSchen Musiktheorie in seiner Zeit erklärte FUSS (1785,

L IX) so: Sie bestehe "vielleicht nur deswegen, weil sie zuviel Mathematik für Tonkünstler, und zuviel Musik für den Mathematiker enthält". Dieser Satz ist sicherlich - der Gedankensprung zu der in Kapitel 3 zu besprechenden Arbeit sei mir gestattet - in Hinsicht auf seine Arbeit "Principia pro motu sanguinis per arterias determinando" in derselben Gültigkeit umformbar: Sie enthält für EULERS Zeit zuviel Mathematik für den Mediziner und zuviel Medizin für den Mathematiker.

Im Jahre 1740 erhielt EULER neben Daniel BERNOULLI und MACLAURIN den Preis der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Paris für seine Theorie zur Erklärung der Erscheinungen von Ebbe und Flut, bei der er wiederum konsequent die Erkenntnisse der analytischen Geometrie anwandte und sie ausbaute.

Aus der ersten Petersburger Schaffensperiode EULERS sind weder aus seinen Veröffentlichungen noch aus seinem Nachlaß, dessen erschöpfende Veröffentlichung allerdings noch aussteht, Arbeiten über physiologische oder allgemein biologische Problemstellungen bekannt. Wohl aber liegen, wie auch schon in den Basler Notizbüchern, in den Themen, die er noch in den zwanziger Jahren vor der Petersburger Akademie abhandelte, umfangreiche Zeugnisse von seiner intensiven Beschäftigung mit der Hydraulik vor. Sie bildete eines der wichtigsten Themen in der Korrespondenz mit Daniel BERNOULLI (MIKHAILOV 1959, 261). Im Austausch ihrer wissenschaftlichen Erkenntnisse arbeiteten sie gemeinsam an den Grundlagen der Hydrodynamik, deren eigentliche Geburtsstunde dann in das Jahr der Veröffentlichung von D. BERNOULLIs "Hydrodynamik" (1738) (vgl. Kap. 3.1.1.2.) zu datieren ist. Diese frühen und die neuen, auf das "neue Prinzip der Mechanik"⁴⁾ von EULER gestützten Erkenntnisse von der Hydrodynamik der sechziger und siebziger Jahre bildeten den Fundus für die im Kapitel 3 zu besprechende Arbeit EULERS zur Haemodynamik. Im selben Zusammenhang sollen hier auch seine frühen Berichte an die Petersburger Akademie über die Akustik und die Mecha-

nik schwingender Systeme erwähnt werden. So gering auch EULERS Neigung zu Experimenten war, so hat er doch wenigstens am Anfang seiner wissenschaftlichen Laufbahn experimentiert, so z.B. über die Bestimmung der Schwingungsperiode von Saiten, die damals - vom Metall abgesehen - natürlich ausschließlich biologisches Material darstellten (MIKHAILOV 1959, 258).

FUSS (1785, L X) schrieb dazu folgendes:

"EULER, den sein feuriger Geist zur Vollendung spornte, hat nur selten Versuche gemacht. Voll Zuversicht auf sein natürliches Gefühl in der Unterscheidung des Wahren und Falschen, und auf seine Fertigkeit nach Combinationen und Aehnlichkeiten zu schätzen, machte er Hypothesen, die oft zu kühn waren, aber seine Überlegenheit in der Analyse machte mehrentheils alles wieder gut; und in der Vereinfachung analytischer Formeln, in der Kunst, sie auf die Erfahrung anzuwenden und sichere Resultate daraus herzuleiten, hat er BERNOULLI und jeden anderen Mathematiker seiner Zeit weit hinter sich gelassen".

Nach diesen Worten seines Schülers darf man also die Arbeitsweise EULERS berechtigt als vorwiegend deduktiv bezeichnen.

Über sein Privatleben und die geplante Veränderung, die im Jahre 1741 das Ende seiner ersten Petersburger Zeit bedeutete, seien noch zwei Zitate aus EULERS Briefwechsel angeführt. 1733 heiratete er Katharina GSELL (1707 - 1773) und schrieb Ende 1734 an MÜLLER: "...daß Dieselben schon von meiner Heurath Nachricht erhalten; ich bin darauf Ew. Hochedelgeb. Exempel gefolget, und habe ein Haus gekauft, so in der Zehenden Linie nicht weit von des Herrn Generalfeldmarschalls Palais gelegen. Endlich ist auch meine Liebste d. 16ten Nov. mit einem jungen Sohn niedergekommen, welchen der Herr Kammerherr KORFF aus der Taufe zu heben und ihm den Nahmen Johann Albert zu geben die Gnade gehabt" (JUŠKEVIČ und WINTER 1959, 37)⁵⁾.

Am (23. Februar) 6. März 1741 schrieb er dann wiederum an

MÜLLER über seine bevorstehende Veränderung (es sollen hier die Hintergründe für seinen Wechsel von Petersburg nach Berlin nicht näher erörtert werden): "Ich hatte nicht weniger vermuthet, als daß ich mich noch anderwärts etabliren sollte, da mir von einem ausländischen Ministre allhier im Nahmen Ihro jetzt regierenden Königl. Majestät von Preußen die Proposition gemacht wurde mich zu der von Ihro Majestät in Berlin neu errichteten Academie der Wissenschaften zu engagieren. Es wurden mir sogleich jährlich 1200 Thal. offeriert, als man aber vernahm, daß meine hiesige Gage in 1200 Rub. bestünde, sind mir sogleich 1600 Thal. zugesagt worden. Nachdem ich nun diese Offerte reichlich überlegt und gute Freunde darüber zu Rath gezogen, so habe dieselbe in Ansehung aller meiner Umstände so vorteilhaft befunden, daß ich sehr thöricht gehandelt haben würde, wann ich dieselbe ausgeschlagen hätte ... ich erwarte jetzt alle Tage die letzten Ordres Ihro Majestät und meine Dimission, um meine Abreise vorzunehmen" (JUŠKEVIČ und WINTER 1959, 45).

2.3. EULERS Wirken an der Berliner Akademie der Wissenschaften

Am 25. Juli 1741 erreichte Leonhard EULER Berlin und betrat damit einen neuen Wirkungskreis, der ihm fast 25 Jahre lang Geborgenheit und finanzielle Sicherheit - worauf EULER als Haupt einer großen Familie immer besonderen Wert legte - für ein außergewöhnlich fruchtbares wissenschaftliches Schaffen bot. Das soll nicht heißen, daß seine Arbeit an der Berliner Akademie der Wissenschaften völlig unproblematisch gewesen sei. Es gab im Gegenteil - ähnlich der unterschiedlichen Wertschätzung der Petersburger Akademie durch die verschiedenen Machthaber - auch hier (obwohl es einen Machtwechsel während EULERS Berliner Zeit in Preußen nicht gab) mehr oder weniger ernsthafte Konflikte mit FRIEDRICH II. (1712 - 1786), die teils in den unterschiedlichen Charakteren, teils in sachlichen und weltanschaulichen Divergenzen begründet waren. Sie entzündeten sich vor allem in der zweiten Hälfte des Wirkens des Schweizer Mathematikers in Berlin an dem Bestreben des

Königs, in seiner "Callomanie" die Berliner Akademie total zu "Franzosisieren" und sie mit Enzyklopädisten zu besetzen, denen EULER als tief religiöser Mann mit großer Aversion gegenüberstand.

Ähnlich wie EULER bei seiner Ankunft in Petersburg vor der Thronbesteigung der Zarin ANNA die dortige Akademie der Gefahr des Verfalls ausgesetzt vorfand, traf er hier auf die 1700 von LEIBNIZ (1646 - 1716) gegründete "Königlich Preußische Akademie der Wissenschaften", die trotz der Mitwirkung einiger bedeutender Gelehrten "unter FRIEDERICH WILHELM I. eine offene Verachtung der Wissenschaft" erfuhr, "die sich in der Ernennung von königlichen Spaßmachern wie P. GUNDELING und D. FASSMANN zu Präsidenten der Akademie auswirkte" (WINTER 1957, 20).

Ein dritter Störfaktor für eine unproblematische Arbeit der Berliner Akademie, die in ihrer praktischen Tätigkeit spätestens nach der Ernennung EULERS zum Direktor der mathematischen Klasse im Jahre 1746 in Händen des Mathematikers lag, waren die kriegerischen Auseinandersetzungen Preußens mit den Habsburgern in den Schlesischen Kriegen. Der erste nahm FRIEDRICH II. bei der Ankuft EULERS in Berlin noch voll in Anspruch und ließ den ehrgeizigen Gedanken des Königs an eine 'neue Akademie' in unbestimmte Ferne rücken. Während so in den ersten beiden Schlesischen Kriegen die Akademie noch auf ihre Renaissance warten mußte, und auch die nach dem ersten Krieg vor allem vom Feldmarschall von SCHMETTAU (1684 - 1751) ins Leben gerufene "Société littéraire" nur eine von wissenschaftsbegeisterten Männern aufrechterhaltene Übergangsregelung zu wissenschaftlicher Kommunikation darstellen konnte, traf der 3. Schlesische oder Siebenjährige Krieg die seit der feierlichen Vorstellung des neuen Präsidenten MAUPERTUIS (1698 - 1759) am 3. März 1746 endgültig tätige und inzwischen in voller Aktivität stehende neue Akademie des Königs. Die direkten Auswirkungen waren Finanzschwierigkeiten der Akademie, die sich schon dadurch ergaben, daß der Vertrieb der Berliner Kalender - eine der wichtigsten Einnahmequellen der Akademie - im Ausland (z.B. in Ruß-

land, das mit Preußen im Krieg stand) stark zurückging. Zudem sei "nirgends kein Papier zu bekommen" (WINTER 1957, 67), so daß der Druck der Mémoires der Berliner Akademie schon 1757 für längere Zeit zum Erliegen kam. Wenn auch nur eine Sitzung der Akademie, und zwar am 9. Oktober 1760, dem Tage der Besetzung Berlins durch russische und sächsische Truppen, ausfallen mußte (WINTER 1957, 66)⁶⁾, und die Akademiemitglieder mehr oder weniger unverdrossen ihre Sitzungen trotz Krieg und Besatzung abhielten, war doch diese Zeit einer freien Entfaltung der wissenschaftlichen Arbeit der Akademie, die noch dazu nach dem Tode MAUPERTUIS' im August 1759 ohne Präsidenten war, in hohem Maße schädlich. EULER selbst war übrigens von den kriegeerischen Auseinandersetzungen direkt betroffen, indem ihm sein Gut in Charlottenburg von feindlichen Soldaten geplündert wurde.

Zu den widrigen Umständen in Berlin kann als vierter Punkt nur bedingt die Auseinandersetzung mit anderen Gelehrten gezählt werden. Neben der Antipathie gegen eine Reihe von französischen Freigeistern stand EULER vor allem in geistigem Widerstreit mit Chr. WOLFF (1679 - 1754) und seinen Anhängern um die Monadenlehre, die er entschieden ablehnte. Auch der Streit mit Samuel KÖNIG (1712 - 1757) um die Priorität bei der Behauptung vom Prinzip der geringsten Aktion in der Natur, die MAUPERTUIS sich selbst, KÖNIG aber LEIBNIZ zuschrieb, muß hier erwähnt werden, weil sich EULER dabei stark engagierte⁷⁾. Derartige Auseinandersetzungen gehörten aber andererseits bei EULER zum wissenschaftlichen Stimulus und boten Gelegenheit, seine eigenen Ideen in polemischer Schärfe zu Papier zu bringen.

Die hier kurz dargestellten Umstände, die die Tätigkeit EULERS in Berlin erschwerten, sollen aber keineswegs darüber hinwegtäuschen, daß zunächst das Ringen um die Erneuerung der Akademie und später dann die neue Berliner Akademie der Wissenschaften selbst einen großen Fortschritt in der Wissenschaftsgeschichte darstellten. Die Fruchtbar-

keit der hier geleisteten Arbeit spiegelt sich deutlich in den "Registres", den Sitzungsprotokollen der Akademie, und ist besonders an den Beiträgen Leonhard EULERS abzu-lesen⁸⁾. Bevor ich auf seine - wenn auch insgesamt nicht umfangreichen - sowohl biographischen als auch wissenschaftlichen Beziehungen zur Medizin und speziell zur Physiologie in den Jahren 1741 - 1766 eingehe, möchte ich einen auf Vollständigkeit keinen Anspruch erhebenden Überblick über die wichtigsten wissenschaftlichen Werke EULERS in seiner Berliner Zeit geben. Aus ihrem Gedankengut ergeben sich indirekt auch Aufschlüsse über seine Vorstellungen in einigen Bereichen der Physiologie, die beispielsweise auch in den "Lettres à une princesse d'Allemagne" schriftlich fixiert sind¹⁰⁾.

Schon im Jahre 1742 vollendete EULER mit fünf Abhandlungen zu mathematischen und astronomischen Problemen den 7. Band der Miscellanea der Berliner Akademie und setzte damit ein ins Stocken geratenes Unternehmen der Akademie wieder in Bewegung (WINTER 1957, 23). In Lausanne erscheint 1744 eine vollständige Abhandlung über das isoperimetrische Problem, in der auch die ersten Ideen EULERS zur Variationsrechnung enthalten sind (O I 24 und 25). Neben der im selben Jahr fertiggestellten Übersetzung und Ergänzung der 'Gunnery' von Benjamin ROBINS (1707 - 1751)¹⁰⁾ verfaßte EULER seine allgemeine Theorie der Bewegung der Kometen und Planeten (O II 18) und befaßte sich überdies mit den Vorstellungen von DESCARTES (1596 - 1650) von einer "unendlich feinen und elastischen Materie": mit dem Äther. Für EULER stellte die von ihm weitergeführte Äthertheorie eine Hypothese dar, die hinlänglich genau war, ihm fünf Erscheinungen der Natur zu erklären: den Magnetismus, die Flamme, die Schwere, die Elektrizität und das Licht (FUSS 1785, LXIV).

"Die Ausdehnung, welche WOLFF¹¹⁾ und seine Anhänger dem letzten Grundsatz gaben, war für EULER nur ein Gegenstand gesellschaftlicher Scherze; aber die Monadenlehre war in seinen Augen ein zu wichtiger Irrtum, als daß er seine

Meinung darüber nicht öffentlich hätte sagen sollen", schrieb N. FUSS (1785, LXVII) und bezog sich dabei auf EULERS mehr oder weniger polemische, einen damals zur Metaphysik zählenden Bereich mit der Elle der Physik messende Schriften wie: 'Recherches physiques sur la nature des moindres parties de la matière' (gedruckt 1746; O III 1, 3), 'Gedancken von den Elemente der Körper' (im Vorgriff auf die 1747 die Monadenlehre zur Diskussion stellende Preisfrage der Berliner Akademie geschrieben; O III 11) und die 'Anleitung zur Naturlehre' (O III 1, 16)¹²⁾. Das Gedanken- gut dieser Abhandlungen verwandte EULER - man würde heute sagen populärwissenschaftlich - auch in den 'Lettres ...'.

Zur Vermeidung der chromatischen Aberration optischer Systeme schlug EULER im Jahre 1747 die Kombination zweier Linsen vor, deren Zwischenraum mit Wasser angefüllt sein sollte¹³⁾. Damit begann der schon in der Einleitung erwähnte fruchtbare Streit mit DOLLOND, der 1757 mit der Erfindung achromatischer Linsensysteme durch letzteren sein Ende fand. Der Ausgangspunkt für die Überlegungen EULERS waren seine Kenntnisse von der Anatomie und der Physiologie des Auges, so daß er versuchte, auch bei anderen optischen Systemen die Aberrationen durch die Kombination verschiedener Medien mit unterschiedlichen optischen Parametern zu beseitigen.

Abschließend zu EULERS Berliner Werken sollen noch seine 'Einleitung in die Analysis des Unendlichen' (1748, O I 8 und 9), seine 'Scientia navalis' (1749)¹⁴⁾ und die seit 1753 in Petersburg gedruckten vier Folgen der 'Anweisung zur Differential- und Integralrechnung' (O I 10 und 11 bis 13) genannt werden.

Leonhard EULER hatte während seines gesamten Berliner Aufenthaltes als auswärtiges Mitglied der Petersburger Akademie der Wissenschaften für ein Jahresgehalt von 200 Rubeln regelmäßig Beiträge zu den Petersburger Commentarii (seit 1750 'Novi Commentarii') beigesteuert und wurde in allen wichtigen Angelegenheiten der Petersburger Akademie

zu Rate gezogen. Davon gibt sein Briefwechsel reges Zeugnis. Ferner schickte ihm die Petersburger Akademie Studenten zur mathematischen Ausbildung nach Berlin, die auch bei ihm Quartier bezogen (O IV A 1, 387/2311). Während EULER z.B. die beiden russischen Studenten KOTEL'NIKOV (1723 - 1806) und RUMOVSKIJ (1734 - 1812) zu erfolgreichen Wissenschaftlern heranbilden konnte, hatte er mit SOFRONOV (1729 - 1760) seine Not: Er wurde durch ihn mit dem Problem des Alkoholismus konfrontiert. SOFRONOVs "gutes Ingenium und recht gutes Gemüth" veranlaßten EULER, ihn von seinem Leiden zu befreien. Dazu übernahm der Lehrer die Verwaltung des Geldes seines Schülers. Da sich EULER also hier als Therapeut versuchte, sei aus seinem Briefwechsel mit MÜLLER, in dem der "Fall SOFRONOV" einen relativ großen Raum einnimmt, zitiert:

"Mit SOPHRONOFF hat es noch Bestand, und er ist ungemein fleißig: er hat mir sein wenig Geld alles zu bewahren gegeben und ist nicht über einen Pfennig Meister. Er kennt seinen elenden Zustand selbst, und so fest sein Vorsatz ist, das Trinken gantz und gar zu lassen, so würde es ihm doch unmöglich fallen, wenn er Geld im Sack hätte, bei einer Branntenweinbude vorbei zu gehen, ohne sich zu besaufen. Doch hoffe ich, wann er sich eine geraume Zeit wird enthalten haben, die Begierde nach und nach abnehmen werde ..." (JUŠKEVIČ und WINTER 1959, 64)¹⁵⁾.

Im Jahre 1755 mußte SOFRONOV wegen doch zu großer Rezidivneigung Berlin verlassen (JUŠKEVIČ und WINTER 1959, 80), am Ende war also Leonhard EULERS Therapie genauso erfolglos, wie sie auch heute noch zum größten Prozentsatz ist.

Mit der Berufung EULERS wollte aber FRIEDRICH II. nicht nur mit einem Genie der theoretischen Mathematik und Physik in seiner Akademie glänzen, er verfolgte auch ganz praktische Ziele: Der Erwerb des Geometers sollte sich auch auszahlen. In diesem Sinne war EULER maßgeblich beteiligt an Berechnungen zur Nivellierung des Finow-Kanals (O IV A 1, 122/636), zur Gradierung der Sole von Schönebeck (O IV A 1, 128/674 und 675), zu den Wasserspielen von Sanssouci (O IV A 1, 123/639 und 640), zu Lotterie-

plänen (EULER 1862, 550) und anderen Finanzobjekten. Besonderen Beifall des Königs brachten auch die nach EULERS neuer Theorie verfertigten Fernrohre dem Mathematiker ein (O IV A 1, 129/685).

Leonhard EULER hatte in seinen Berliner Jahren mannigfaltigen Kontakt zu Medizinern und Wissenschaftlern, die neben ihrer Qualifikation im Arbeitsgebiet auch in rebus medicis promoviert waren. Waren es bei den den Arztberuf ausübenden Medizinern so berühmte Persönlichkeiten wie Johann Friedrich MECKEL d. Ä. (1724 - 1774)¹⁶⁾, Johann Nathanael LIEBERKÜHN (1711 - 1756)¹⁷⁾ oder Johann Theodor ELLER (1689 - 1760)¹⁷⁾, um Ärzte zu nennen, mit denen EULER bei den Sitzungen der Akademie häufig zusammenarbeitete, so waren es bei den hauptsächlich auf einem anderen Gebiet arbeitenden Wissenschaftlern besonders zwei, mit denen er vor allem durch seine Korrespondenz enge Beziehungen unterhielt: Daniel BERNOULLI und Johann Andreas SEGNER (1704 - 1777). Die Beziehungen zu BERNOULLI sind an anderer Stelle eingehender dargestellt (s. Kap. 2.1. und Kap. 3.1.1.2.). Hier sei nur ergänzt, daß, wie aus dem Inhalt der in die Berliner Zeit fallenden Briefe beider Wissenschaftler ersichtlich, in dieser Zeit immer wieder hydrodynamische Probleme diskutiert wurden und EULER in einen unglücklichen Autoritätsstreit zwischen Johann (I) BERNOULLI und seinem Sohn Daniel als Vermittler geriet. Der eine wollte in seiner 'Dissertatio hydraulica' (1747; Erstdruck schon 1742 in 'Opera omnia'), der andere in seiner 'Hydrodynamica' (1738) das hydromechanische Grundprinzip richtig dargestellt haben. EULER fand für beide Arbeiten Beifall und Kritik, was ihm letztlich die persönliche Freundschaft beider bewahren half (O IV A 1, 29/138; 49/219). Wie später noch heller beleuchtet werden soll, gingen sowohl bei Daniel BERNOULLI als auch - von diesem angeregt - bei Leonhard EULER während ihrer Forschungen in der Hydrodynamik die Gedanken immer wieder zum hydrodynamischen System des menschlichen Körpers, zur Haemodynamik. Zu dieser Aussage berechtigen einige wenige Briefe BERNOULLIs, die auf das Interesse des Berliner Mathematikers an den Gesetzmäßigkeiten des Blutkreislaufs

schließen lassen (s. Kap. 3.1.2.).

Ein interessanter Hinweis auf das soeben angesprochene Physiologie-Interesse EULERS findet sich auch im Briefwechsel zwischen EULER und Johann Andreas SEGNER (1704 - 1777). Wenn auch von dieser Korrespondenz nur die Briefe aus der Feder SEGNERs erhalten sind - erst in jüngster Zeit konnten im hallischen Raum einzelne Schreiben EULERS identifiziert werden (KAISER 1977, 7) - so sind doch die Themen klar erkennbar: Eines der wichtigsten ist die Hydromechanik, hier vor allem im Zusammenhang mit der Erfindung des nach dem hallischen Professor benannten SEGNER-Rades, das später durch EULER weiterentwickelt wurde (O II 15 bis 17; EULER 1911; s. S. 6). Darüber hinaus kam aber auch die Haemodynamik zur Sprache: Im Brief vom 27. September 1760 teilte SEGNER kurz seine Vorstellungen über die Bewegung des Blutes in den Gefäßen mit (O IV A 1, 418/2520). Es kann nur bedauert werden, daß EULERS Reaktion auf diese Bemerkungen durch das Fehlen der Antwortbriefe unbekannt ist.

Im Frühjahr 1761 reiste EULER nach Halle und nahm Quartier bei SEGNER, der im Brief vom 7. März 1761 die Einladung ausgesprochen hatte (O IV A 1, 419/2526). Der Grund für die Reise war der Wunsch des in Petersburg geborenen EULER-Sohnes Karl (1740 - 1790), in Halle sein Medizinstudium abzuschließen. Am 13. Februar 1762 teilte dann SEGNER das erfolgreich absolvierte Examen Karl EULERS an den Vater mit (O IV A 1, 420/2538). Noch im selben Jahr, am 2. Oktober 1762, verteidigte der Sohn "...unter dem Vorsitz des Herrn Geheimden Raths BÜCHER ... seine academische Probeschrift, de venaesectione in febris catarrhalibus non semper nociva, welche in den Hendelischen Officin auf 3 und einem halben Bogen gedruckt ist..." (KAISER und KROSCHE 1967, 44). Noch einmal äußerte sich SEGNER in offensichtlichem Interesse für den Werdegang des jungen Mediziners zu Angelegenheiten Karl EULERS in einem Brief vom 9. August 1763: Er billigte dessen Reise nach Holland, um dort weiter Medizin zu studieren, denn Medizin "ist fast alle zwei Meilen anderst" (O IV A 1, 422/2550).

In demselben Jahr findet man auch eine begeisterte Stellungnahme SEGNERs zu EULERs in das Jahr 1755 zu datierenden hydrodynamischen Entdeckung (s. Kap. 3.1.1.2.), wie überhaupt der hallische Physikprofessor (und Dr. med.) zu den großen Bewunderern des Schweizer Mathematikers zählte. Dies bewies einmal mehr SEGNERs Äußerung vom 20. Juli 1765, nachdem er von den zunehmenden Schwierigkeiten gehört hatte, unter denen EULER an der Berliner Akademie zu arbeiten hatte. Er wünschte EULER, daß er bald die Möglichkeit haben möge, wieder ruhig an der Akademie arbeiten zu können, da jede für ihn verlorene Stunde eine für die Menschheit verlorene Stunde bedeute (O IV A 1, 425/2568).

Leonhard EULER aber sah diese Möglichkeit nicht mehr, er hegte schon seit längerer Zeit die Absicht, wieder nach Petersburg umzusiedeln. Die Gründe hierfür sollen nicht Gegenstand der Erörterung sein, sie resultieren im wesentlichen aus den schon eingangs erwähnten Konflikten. Alle Faktoren wirkten jetzt zusammen, und das Schwanken EULERs, die Berliner Akademie der Wissenschaften zu verlassen oder sich mit den Gegebenheiten abzufinden, fand ein Ende: Er verließ am 9. Juni 1766 mit seiner Familie Berlin.

2.4. Zweite Petersburger Schaffensperiode

Aufreibende Monate lagen hinter Leonhard EULER, als er 59jährig am 17. Juli 1766 mit seiner großen Familie in Petersburg ankam: Hatte es doch nicht nur gegolten, seinen und seiner "achtzehn Seelen"¹⁸⁾ zählenden Familie Abschied bei FRIEDRICH II. durchzusetzen, sondern auch sein Charlottenburger Gut zu günstigen Bedingungen zu verkaufen und seine zu 5 % in Berlin angelegten Kapitalien zu mobilisieren. EULER kehrte also als hochgeschätzter, aber auch vermögender Gelehrter nach 25jähriger Abwesenheit nach Petersburg zurück. Wie hoch seine Person inzwischen "in Kurs" stand, zeigt das sofortige Geschenk KATHARINA II. von 8000 Rubeln zum Ankauf eines Hauses für die Familie EULER (FUSS 1785, LXXX).

In wiederum gesicherter Existenz und mit dem Ziele, viele Vorhaben, die noch der Berliner Zeit entstammten, zu verwirklichen und vielen neuen Ideen nachzugehen, mußte er kurz nach dem Einzug in sein neues Haus einen zweiten schweren Schlag gegen seine sonst so robuste Gesundheit hinnehmen: Er verlor auch auf dem linken Auge das Sehvermögen. "Welch ein schrecklicher Zufall für einen Mann, dem die Gewohnheit die Arbeit zum Bedürfnis gemacht hatte, dessen stets geschäftiger Geist sich nun auf einmal außer Stand gesetzt sah, die wichtigen Aufgaben zu vollenden, zu denen der Entwurf schon in seiner Seele lag, und die seine neue innigere Verbindung mit der hiesigen Akademie durch einen noch außerordentlichen Grad von Fruchtbarkeit auszeichnen sollte. Eine gänzliche Unthätigkeit wäre nun das Loos jeden kleinern Geistes gewesen. EULERS erstaunliches Gedächtnis, und seine durch die gänzliche Abziehung von allen zerstreuenden äußern Eindrücken vermehrte Einbildungskraft ersetzten bald den Verlust, der die gelehrte Laufbahn des großen Mannes zu beschließen drohte", schrieb Nikolaus FUSS und gab damit die nun eingetretene Situation treffend wieder (FUSS 1785, LXXX). Zwar hatte EULER seine besten Jahre der Berliner Akademie der Wissenschaften geschenkt, und Berlin stellte wohl überhaupt den Höhepunkt seines Wirkens dar (WINTER 1957, 91), und doch fielen in die zweite Petersburger Zeit des großen Mathematikers noch hervorragende Werke, deren Geschlossenheit und Präzision die würdige Fortsetzung seiner bisherigen wissenschaftlichen Laufbahn darstellten.

Im Jahre 1768 erschien eine russische Übersetzung, zwei Jahre danach die deutsche Urschrift der 'Vollständigen Anleitung zur Algebra' (O I 1), in den Jahren 1769, 1770 und 1771 kamen die drei Quartbände der 'Dioptrica' (O III 3 und 4) heraus, die EULERS in den 30 Jahren gewonnene Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Optik in einem Standardwerk zusammenfaßten. Gerade weil von den Arbeiten EULERS auf dem Gebiet der physikalischen Optik ein hoher praktischer Wert ausging, fanden die Berechnungen optischer Systeme bei seinen Briefpartnern bis

hin zu FRIEDRICH II., den russischen Monarchen und den ausländischen Akademien jederzeit großes Echo. So kann man berechtigtermaßen davon ausgehen, daß es mit ein großes Verdienst von EULER ist, wenn etwa um die Mitte des 18. Jahrhunderts die Verbesserung der Mikroskopie die Grundlage dafür bot, daß dann - allerdings erst wesentlich später, woran das "romantische Zwischenspiel" in der Medizin einen wesentlichen Anteil hatte (ROTHSCHUH 1953, 94) - im 19. Jahrhundert die Gebäude der Zellulärpathologie¹⁹⁾ und der allgemeinen Histologie²⁰⁾ errichtet werden konnten.

Der sein reiches Gedankengut zu Papier zu bringen so hilflos gewordene EULER hatte glücklicherweise nun aber nicht nur Freunde in aller Welt, sondern er konnte sich in seiner nächsten Nähe auf einen Kreis von Verehrern stützen, der es ihm ermöglichte, seine Ideen aufzuzeichnen und die vielen redaktionellen Nebenarbeiten zu erledigen. Neben seinem ältesten Sohn, dem Mathematiker Johann Albrecht EULER (1734 - 1800), halfen ihm mehrere seiner Schüler, wie Wolfgang Ludwig KRAFFT (1743 - 1814), Andreas Johann LEXELL (1740 - 1784) und Nikolaus FUSS (1755 - 1826)²¹⁾. So waren "... um die nemliche Zeit, als die Akademische Druckerey an diesem Werke (- Dioptrik -) arbeitete, ... ihre Pressen mit dem Druck der Briefe an eine deutsche Prinzessin, der Integralrechnung, der Anleitung zur Algebra, der Untersuchungen über den Cometen von 1769, der Berechnungen der Sonnenfinsterniß und des Durchganges der Venus, der neuen Mondtheorie, der Mondtafeln und des Werkes über den Bau und die Lenkung der Schiffe beschäftigt, ohne der großen Anzahl von Abhandlungen zu erwähnen, die sich in den in diesem Zeitraum erschienen Bänden der Commentarien befinden" (FUSS 1785, LXXXII).

Im Jahre 1772 traf die Familie EULER ein schweres Ereignis: Durch eine Feuersbrunst wurde der größte Teil ihrer Habseeligkeiten vernichtet. So fielen den Flammen auch eine Reihe von Manuskripten zum Opfer. Ob auf die Verlustliste auch die

ersten 14 Paragraphen der in Kapitel 3 zu besprechenden Arbeit 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' zu setzen sind, kann nicht eruiert werden, zumal diese Arbeit nirgends bei EULER selbst oder in seinem Briefwechsel expressis verbis erwähnt wird.

In engem Zusammenhang mit der zusammenfassenden Darstellung seiner Theorien zur Hydromechanik (O II 12 und 13), die ihn wohl auch zur Niederschrift seiner 'Principia pro motu sanguinis ...' bewogen hatte, stehen EULERS Arbeiten zur Aerodynamik. Sie führten ihn z.B. in seiner Arbeit 'De motu aeris in tubis' (OII 13, 262) zu Berechnungen von Schwingungen der Luftsäule in Blasinstrumenten oder von Schwingungen der Saiten bei Streich-, Zupf- oder Tasteninstrumenten, durch die er in die Lage versetzt wurde, akustische Phaenomene besser erklären zu können. Es ist anzunehmen - Näheres dazu in Kapitel 4.3.1. -, daß auch in den letzten Petersburger Jahren EULERS Interesse an physiologisch-akustischen Problemen wach war: Eine Preisfrage der Petersburger Akademie der Wissenschaften vom Jahre 1780 zu Fragen der Phonetik und der Möglichkeit des Baus von Instrumenten, die die Vokale genau imitieren können (PANCONCELLI-CALCIA 1940, 46), geht auf einen Vorschlag EULERS von 1765 zurück (JUŠKEVIČ und WINTER 1976, 236).

Abschließend seien noch einige persönliche Begebenheiten angemerkt: Nach dem Tode seiner ersten Frau heiratete Leonhard EULER im Jahre 1776 eine Halbschwester der Verstorbenen, Salome Abigail GSELL. Von seinen 13 Kindern starben 8 früh; von den fünf Kindern, die alle mit nach Petersburg gekommen waren, mußte der Vater noch den Tod der beiden Töchter beklagen, ehe seine "glorreiche Laufbahn in einem Alter von 76 Jahren, 5 Monaten und 3 Tagen endigte" (FUSS 1785, XC und XCIII).

3. Leonhard EULERS Versuch einer quantitativen Modellierung und theoretischen Durchdringung der Bewegungsphysiologie des Blutkreislaufs

3.1. Prämissen für EULERS Arbeit auf dem Gebiet der Bewegungsphysiologie des Blutkreislaufs

Im folgenden soll der Frage nachgegangen werden, worin die Voraussetzungen lagen, die Leonhard EULER als gegeben hinnehmen konnte, wenn er sich eine für seine Zeit so kühne Aufgabe stellte, die 'Principia pro motu sanguinis per arterias' zu bestimmen. Sie gliedern sich in die mathematischen Voraussetzungen, die durch die analytische Geometrie von DESCARTES und die LEIBNIZsche Infinitesimalrechnung gegeben waren und auf die ich hier nicht näher eingehen möchte, ohne aber dabei zu vergessen, daß EULER selbst hierzu an Verbesserungen und Weiterentwicklungen Wesentliches beigetragen hat, das er natürlich in seiner physiologischen Arbeit souverän anwandte.

Einen etwas breiteren Raum sollen in der vorliegenden Arbeit die physikalischen Voraussetzungen, also die Wurzeln und die enormen Fortschritte der Physik, speziell der Hydromechanik, die EULER selbst miterlebte und verdienstvoll vorantrieb, zum besseren Verständnis seiner physikalischen Überlegungen über die Hydrodynamik des Blutkreislaufes einnehmen.

Schließlich soll der weiteren Besprechung des EULERSchen Fragmentes 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' noch eine eingehende Betrachtung des Standpunktes vorangestellt werden, den die Lehre vom Blutkreislauf durch die Geschichte hindurch bis zur zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts erreicht hatte. Denn solange z.B. noch das 'Pneuma' durch die Blutgefäße spukte, wäre eine solche auf exakt naturwissenschaftlicher Basis stehende Arbeit, wie sie die zur Diskussion stehende EULERSche darstellt, nicht in den Bereich des Möglichen vorgedrungen. Es sei noch darauf hingewiesen, daß diese Einteilung neben der sachlichen Berechtigung nicht ohne Willkür bleiben kann: Gerade die Personalunion, die man auf vielen Gebieten der Wissenschaft, sei es in der Antike,

sei es in der Gegenwart des 17. und 18. Jahrhunderts in oft erstaunlichem Ausmaße findet, wie auch die gegenseitige Befruchtung von Mathematik und Physik, von Physik, Chemie und Medizin, von Philosophie und Physiologie usw. lassen Grenzen und Prioritäten unscharf und nicht eindeutig bestimmbar erscheinen, so daß wir die Prämissen für eine erfolgreiche Entdeckung oder gar einer wissenschaftlichen Revolution im KUHNschen Sinne nur als Netzwerke, geflochten aus Ideen, Experimenten, methodischer Souveränität, Ausdauer in der Analyse und Genialität in der Synthese, ansehen können.

3.1.1. Wurzeln und Parallelen für EULERS Wirken in der Hydromechanik (physikalische Prämissen)

3.1.1.1. Wurzeln aus der Geschichte der Physik

Schon in seiner Basler Zeit, also noch vor Vollendung seines zwanzigsten Lebensjahres, beschäftigte sich Leonhard EULER mit Problemen der Hydromechanik, vor allem mit der Hydraulik und der Hydrostatik. In seinem Baseler Notizbuch findet sich ein umfangreiches Konzept, das, bestehend aus zwei Fragmenten, seine Entwürfe der Pläne zu hydromechanischen Forschungen enthält. Sie wurden in dieser frühen Schaffensperiode "ob insufficientiam principiorum" (MIKHAĬLOV 1959, 260) nicht vollständig realisiert. Der Raum, den die Beschäftigung mit der Hydromechanik zu dieser Zeit bei EULER einnahm, wird durch die Tatsache, daß seine Antrittsvorlesung an der Petersburger Akademie der Wissenschaften 1727 dem Thema "De quantitate aquae ex foramine effluentis" (MIKHAĬLOV 1959, 261) gewidmet war, besonders deutlich.

EULER konnte bei diesen Studien und Forschungen auf eine Reihe bedeutender Forschungsergebnisse zurückgreifen: ARCHIMEDES (212 v. u. Z.) gehörte mit seinen Arbeiten über die Hydrostatik ("Auftrieb") zum physikalischen Lehrgut (HEATH 1897). TORRICELLI (1608 - 1647) hatte beschrieben, daß die Geschwindigkeit des durch eine kleine Öffnung ("vena contracta") aus einem Gefäß ausfließenden Wassers der Geschwindigkeit eines aus der der Höhe des Wasserstandes entsprechenden Höhe freifallenden Körpers gleich ist

(TORRICELLI-Prinzip: $V = \sqrt{2gh}$; 1644). NEWTON (1643 - 1727) nahm diese Entdeckung in seinen 'Philosophiae naturalis principia mathematica' (1687) auf und entwickelte darüber hinaus eine Hypothese über die Viskosität von Flüssigkeiten (TRUESDELL 1955, XIII). Sein Gravitationsgesetz wurde von den Mathematikern des 18. Jahrhunderts als richtig anerkannt und in die mathematisch-physikalischen Kontemplationen einbezogen, ohne daß ein experimenteller Beweis des Gesetzes schon erbracht worden wäre. Ohne hier Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu wollen, seien noch die Namen HUYGENS, CLAIRAUT, PASCAL, TAYLOR und MAC LAURIN genannt, die alle eine bedeutende Rolle in der Erarbeitung der Grundprinzipien der Hydromechanik spielten und deren Ergebnisse EULER bekannt waren (TRUESDELL 1955).

3.1.1.2. Parallelen zu den EULERSchen Arbeiten in der Hydromechanik des 18. Jahrhunderts

"In the cosmos of hydrodynamics, NEWTON is the OURANOS, Daniel BERNOULLI the KRONOS, and EULER the ZEUS" (TRUESDELL 1955, XII). Im Hinblick auf die neben Leonhard EULER geleistete Arbeit in der Hydromechanik soll an dieser Stelle näher auf "KRONOS", Daniel BERNOULLI, eingegangen werden, da sowohl die enge zeitgenössische Nachbarschaft als auch eine fruchtbare akademische und persönliche Freundschaft sich im wissenschaftlichen Schaffen beider vielfach deutlich niederschlagen.

EULER hatte seine frühen Arbeiten in der Hydromechanik nicht veröffentlicht. Aus seinem Briefwechsel mit D. BERNOULLI geht aber klar hervor, daß ein reger wissenschaftlicher Austausch auf diesem Gebiet bestand, und BERNOULLI beurteilte z.B. in einem Brief an G. POLENI (1683 - 1761) vom August 1727 die Arbeiten EULERS über Hydraulik hervorragend (MIKHAILOV 1959, 261). Es war damals noch kaum üblich, in wissenschaftlichen Arbeiten zu zitieren oder Quellen aus der Literatur anzugeben. Dies geschah höchstens im Eindruck besonderer Würdigung oder in polemischer Absicht. So geriet auch D. BERNOULLI im Jahre 1729 in der Petersburger Akademie in Streit mit G. B. BÜLFFINGER (1693 - 1750),

der ihn unter anderem beschuldigte, Resultate EULERS in seinen hydrodynamischen Arbeiten als seine eigenen ausgegeben zu haben. Es beleuchtet das Verhältnis zwischen EULER und BERNOULLI gut, wenn man hört, daß EULER am 2. August 1729 in einem besonderen schriftlichen Bericht an die Akademie versichert, "... daß auch H. Prof. BERNOULLI das geringste, was er bisher in den Conferentzen vorgelesen, sollte von mir genommen haben, das sage ich nicht und werde es auch nimahlen sagen mit einigem Grund der Wahrheit" (MIKHAILOV 1959, 261).

Gegen 1730 entdeckte D. BERNOULLI als etwa 30jähriger das hydrodynamische Grundprinzip über die Konstanz der Summe von kinetischer und potentieller Energie im System strömender Flüssigkeiten.

Der Begriff Energie stammt allerdings noch nicht von BERNOULLI, er wurde im Jahre 1807 von Thomas YOUNG geprägt (LAUE 1947, 78). BERNOULLI wie auch seine Zeitgenossen verwandten noch den Begriff der "vis viva", dessen physikalische Dimension aber schon mit der der "Energie" übereinstimmte. Dennoch war diese Dimension noch nicht unumstritten, was ich in Anlehnung an die Ausführungen von JUŠKEVIČ und WINTER (1961) kurz darstellen möchte: Um die Messung der Kräfte eines sich bewegenden Körpers wurden langwierige Auseinandersetzungen zwischen den Anhängern von DESCARTES und denen von LEIBNIZ geführt. Während die ersteren als Größe dieser Kraft das Produkt mv (m = Masse, v = Geschwindigkeit des sich bewegenden Körpers) annahmen, verwandten letztere das Produkt mv^2 . BERNOULLI wie auch EULER schlossen sich in dieser Hinsicht eindeutig der Auffassung von LEIBNIZ an. Die "lebendigen Kräfte" waren aber nicht nur ein physikalisches Thema, sondern auch ein philosophisches. Das bewies Immanuel KANT (1724 - 1804) mit einem Jugendwerk (1746), das er EULER am 23. August 1749 mit der Bitte um Stellungnahme zusandte (O IV A 1, 192/1090). Die Antwort EULERS ist nicht bekannt, wohl aber ein Epigramm von LESSING (1729 - 1781):

"Kant unternimmt ein schwer Geschäfte
der Welt zum Unterricht.

Er schätzt die lebendigen Kräfte,
nur seine schätzt er nicht" (Zit. nach JUSKEVIČ und
WINTER 1961, 32).

Leonhard EULER hielt die Frage der wirkenden bzw. lebendigen
Kräfte für entschieden. Den weitergehenden Streit darüber
fand er überflüssig, so daß er im April 1751 z.B. an
SCHUMACHER (1690 - 1761) schrieb, es sei ihm "die Materie
von den viribus vivis gantz ekelhaft" (JUSKEVIČ und WINTER
1961, 238).

In dem 1738 erschienen Buch 'Hydrodynamica, sive de viri-
bus et motibus fluidorum commentarii' legte Daniel BERNOULLI
seine großartige Entdeckung ausführlich dar. Dort liest man,
um einige Kernsätze zu zitieren, in der sectio prima § 18:
"Am wichtigsten ist die Erhaltung der lebendigen Kräfte,
oder, wie ich es ausdrücke, die Gleichheit von aktuellem
Fall und potentielltem Aufstieg"

und weiter in sectio tertia § 1: "Wir wollen also annehmen,
daß der potentielle Aufstieg des Systems, dessen einzelne
Teilchen mit irgendeiner Geschwindigkeit bewegt werden, die-
jenige Höhe bezeichnet, zu der das Zentrum der Schwerkraft
dieses Systems gelangt, wenn die einzelnen Teilchen so be-
trachtet werden, als ob sie, in eine Aufwärtsbewegung ge-
bracht, mit größtmöglicher Geschwindigkeit aufsteigen, und
der aktuelle Fall diejenige senkrechte Höhe bezeichnet, aus
der das Zentrum der Schwerkraft herabfällt, nachdem die ein-
zelnen Teilchen in Ruhe verharret haben. Dann werden wir uns
auch erinnern, daß notwendigerweise der potentielle Aufstieg
dem aktuellen Fall gleich ist ..." (BERNOULLI 1738, 30).

Leonhard EULER sparte nicht mit Lob über die Arbeit seines
Freundes, zumal er über die wesentlichen inhaltlichen Punkte
durch den regen Briefwechsel schon vor Erscheinen der 'Hy-
drodynamica' informiert war und an einigen Problemen durch
Stellungnahmen in seinen Briefen indirekt mitgearbeitet hatte.
Von nun an wurde die weitere Entwicklung der Hydromechanik
in immer stärkerem Maße von EULER selbst mitbestimmt: In
seiner Berliner Zeit erarbeitete er die Kontinuitätsgleichung

$$\left(\frac{dq}{dt}\right) + \left(\frac{d \cdot qu}{dx}\right) + \left(\frac{d \cdot qv}{dy}\right) + \left(\frac{d \cdot qw}{dz}\right) = 0 \quad 22)$$

und stellte die allgemeine Form der Differentialgleichung der Bewegung einer idealen Flüssigkeit auf

$$\frac{dp}{\rho} = Pdx + Qdy + Rdz - Xdx - Ydy - Zdz \quad 23)$$

Dieses "neue Prinzip" lieferte EULER das Werkzeug, die Grundlagen der modernen Hydromechanik der idealen Flüssigkeiten zu erarbeiten (MIKHAÏLOV 1959, 260). Es stellte für ihn auch die Basis der in der vorliegenden Arbeit zu besprechenden physiologischen Arbeit über die Prinzipien der Bewegung des Blutes durch die Arterien dar. Abschließend sei an dieser Stelle noch auf die ausführliche Darstellung der Entwicklung der Hydromechanik vom Ausgang des 17. bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts von C. A. TRUESDELL (1955) in der Gesamtausgabe der EULERSchen Werke hingewiesen.

3.1.2. Das Wissen um die Anatomie und die Physiologie des Herzens und der Blutgefäße und um die Bewegung des Blutes in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts

3.1.2.1. Von der antiken Medizin bis William HARVEY

Vom Datum des EULERSchen Fragmentes 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' her gesehen, das 1775 erschien, war es noch keine 150 Jahre her, daß William HARVEY in seiner 'Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus' (1628) erstmalig den großen Kreislauf als solchen beschrieben und das Herz als Pumpe in sein Zentrum gesetzt hatte.

Zwar gab es Vertreter der Ansicht, daß schon im Corpus Hippocraticum eine gewisse Kenntnis von der Kreisbewegung des Blutes verbucht sei (ABEL 1958; FRIEDRICH 1899; FUCHS 1895; LITTRÉ 1839), und es ging sogar soweit, daß von einigen Autoren behauptet wurde, "daß der Blutkreislauf bei Abfassung der Hippokratischen Schriften, also etwa 400 Jahre vor Christ, bereits aufs Genaueste bekannt war" (KAPFERER 1937, 1939; STICKER 1938). Diese Meinungen aber beruhen nach ASCHOFF (1938) und DIEPCEN (1937, 1939) auf Mißdeutungen einzelner philologisch mehrdeutiger Textstellen. Über-

dies beschäftigten sich die "Hippokratiker" (450 - 300 v.u.Z.) weniger mit der Physik der Gefäße und des Blutes als mit der Chemie der humoralen Bestandteile des Körpers, deren Klassifizierung auf die vier Elemente des EMPEDOKLES von Agrigent basierte: Feuer, Wasser, Erde und Luft (entsprechend den vier Qualitäten: Hitze, Feuchtigkeit, Trockenheit und Kälte) und die in die "Viersäftelehre" des POLYBOS mündete (ASCHOFF und DIEPGEN 1945).

Erst in der Alexandrinischen Schule tauchte unter ERASISTRATOS (ca. 300 - 250 v.u.Z.) erstmalig ein physikalisches Denken in der Medizin auf. Er beschrieb z.B. als erster Anastomosen zwischen Venen und Arterien, die ihm dann auch erklärten, warum bei Kriegsverletzungen aus den Arterien Blut fließt und nicht nur "Pneuma" austritt, denn wenn dies als eigentlicher Inhalt der Arterien entwichen und ein "horror vacui" entstanden sei, öffneten sich die Anastomosen, und Blut könne aus den Venen in die Arterien übertreten (ASCHOFF 1938; DIEPGEN 1939).

Niemand sah sie, aber das Dogma der antiken und mittelalterlichen Gelehrten (ARISTOTELES, GALEN) wurde bis ins 16. Jahrhundert hinein so hoch gehalten, daß man sie weiterhin postulierte: die Poren im Septum cordis. Sie - und nicht das Kapillarbett der Lungen - schufen angeblich die Verbindung zwischen Luft (Pneuma) und Blut, bis SERVETO (1511 - 1553)²⁴⁾ und COLOMBO (1516 - 1559)²⁵⁾ wie auch schon IBN AN NAFIS (gest. 1288) - was der abendländischen Medizin allerdings nicht bekannt war (ROTHSCHUH 1953) - aus den Zweifeln an den Septum-Porositäten heraus zur theoretischen Behauptung (SERVETO, IBN AN NAFIS) und zum auf bestimmte Beobachtungen beruhenden Postulat des Lungenkreislaufes (COLOMBO) gelangten.

Schon 1546 hatte CANANO (1515 - 1579) die Venenklappen entdeckt, die 1574 durch H. F. AQUAPENDENTE (etwa 1537 - 1619), dem Lehrer HARVEYS, eingehender beschrieben wurden und dann auch bei den Überlegungen HARVEYS, die zur Beschreibung des großen Kreislaufs führten, eine wesentliche Rolle spielten (ASCHOFF 1938; ROTHSCHUH 1957). Ihre endgültige experimen-

telles Bestätigung fand aber die Lehre vom Fluß des Blutes als Kreislauf erst nach HARVEYS Tode im Jahre 1661 durch MALPIGHI (1628 - 1694), der im Mikroskop den - den "Kreis" schließenden - Fluß des Blutes durch das Kapillarnetz der Lunge und der Harnblase beim Frosch verfolgen konnte (HEINEMANN 1939). Sah er noch die corpuskulären Bestandteile des Blutes als Fetttröpfchen an, so gelang es bald darauf (1673) VAN LEEUWENHOEK (1632 - 1723), sie als konstante Blutbestandteile (später dann erst als rote Blutkörperchen bezeichnet) zu identifizieren (HEINEMANN 1939).

Im "autokatalytischen Prozeß der schrittweisen Problemfaltung" (ROTHSCHUH 1961) ergab sich aus der Theorie von der Kreisbewegung des Blutes eine Reihe von Fragen, die dringend einer exakteren Beantwortung bedurfte, jetzt aber auch in den Bereich des Möglichen hineinwuchs. Es wollte vielen wissenschaftlichen Größen in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts - noch dazu stark von der biomechanischen Philosophie von DESCARTES beeinflusst - nicht mehr begründet erscheinen, im Herzen außer seiner mechanischen Funktion auch noch z.B. den Sitz der Seele, den Ort der Wärmebildung oder den Ort der Spirituserzeugung zu sehen. So fand STENO (1638 - 1686) nach sorgfältiger Präparation des Herzmuskels: "Cor innati sedem, animae thronum, quin ipsam nonnulli animam voluerunt: Cor solem, imo Regem salutarunt, cum tamen ubi rem rite examinaveris, non nisi musculus sis inventurus" (1664), oder: "man werde im Herzen nichts vermissen, was auch dem Muskel gegeben sei, es ist nicht von anderer Art als der Skelettmuskel, kein Sitz der Seele, kein Erzeuger des Blutes, kein Erzeuger von Spiritus vitales" (1667). Diese "ernüchternden" Feststellungen öffneten nun auch endgültig den Weg zu einem neuen Arbeitsgebiet, der Kreislaufmechanik, und es begannen Begriffe wie Kraft, Widerstand, Druck usw. im Zusammenhang mit der Blutbewegung eine Rolle zu spielen. Die ersten Überlegungen hierzu lagen zwar schon bei DE WALE (1604 - 1649; 1641) und bei HARVEY im zweiten Brief an RIOLAN (1649), wo er auf die Wirkung enger und weiter Blutgefäße auf den Umlauf des Blutes zu sprechen kommt, aber erst BORELLI (1608 - 1679) stellte die ersten Berechnungen über die Muskelkraft des Herzens an

(1680), und HALES (1677 - 1761) versuchte seine theoretischen Schlüsse über Blutströmung, Strömungsgeschwindigkeit, Schlagvolumen und Blutdruck durch Tierexperimente zu untermauern (1733).

3.1.2.2. Von HARVEY zu den Iatrophysikern und Iatromathematikern des 18. Jahrhunderts

Man kann davon ausgehen, daß Leonhard EULER die bisher erwähnten Wissenschaftler mit ihren Forschungsergebnissen kannte, da er sich, wie erwähnt, in der Zeit von 1725 bis 1727 mit dem Ziel, eine Professur für Physiologie an der Petersburger Akademie einnehmen zu können, mit dem Studium der Medizin in Basel befaßt hatte. Er war auch später, wie aus den Kenntnissen über seine Bibliothek und aus seinem Briefwechsel hervorgeht, wo er immer wieder um Übersendung der neuesten Literatur bat, auf dem letzten Stand der Wissenschaft. Außerdem hatte er in seinen über 50 Jahren aktiver Mitgliedschaft in den verschiedenen europäischen Akademien keine Gelegenheit versäumt, sich über wissenschaftliche Entwicklungen in anderen als seinen Spezialgebieten unterrichten zu lassen.

Mit Stephan HALES ist aber jetzt erstmals der Name eines Zeitgenossen EULERS gefallen, und es ist interessant, daß in einem Brief D. BERNOULLI'S an L. EULER vom 25. Dezember 1743 ein Beleg dafür existiert, daß EULER auf die "Haemostaticks" von HALES (1733; hier "HALLES" geschrieben und später mit "HALLER" verwechselt) aufmerksam gemacht worden ist (FUSS 1843, 542). BERNOULLI selbst entnahm diesem Werk die bei Tierexperimenten gefundenen und auf die Verhältnisse beim Menschen extrapolierten Werte des Blutdrucks, die er seinen Schüler PASSAVANT in dessen 'Dissertatio inauguralis mechanico-medica de vi cordis' (1748) verwenden ließ. BERNOULLI, der als der geistige Vater dieser Arbeit gilt, hatte schon 1737 in einer Festrede "De vita" anlässlich des "actus promotorius" der Kandidaten METZ und RITTER seine Methode zur Berechnung der Herzarbeit vorgelegt, die prinzipiell bis heute ihre Gültigkeit nicht verloren hat (SPIESS und VERZÄR 1940/41, 259).

BERNOULLIs Methode von 1737 und die in der PASSAVANTschen Arbeit auf den Experimenten von HALES fußenden korrigierten Werte des Blutdrucks-mündeten in folgende Berechnung: Bei jeder Systole werden von der linken Herzkammer 1,5 Unzen Blut (die Schätzung des Schlagvolumens geht auf HARVEY zurück) 8 Fuß hoch gehoben, in der Stunde finden etwa 4000 Systolen statt. Das entspricht pro Stunde 375 Pfund 8 Fuß hoch gehoben oder 3000 Pfund 1 Fuß hoch gehoben. Umgerechnet ergibt dies eine Herzarbeit von 12 000 mkp für den linken Ventrikel. Der rechte leistet nach BERNOULLI die Hälfte der Arbeit des linken Ventrikels, die dann, zur letzteren dazugezählt, den richtigen Näherungswert von 18 000 mkp für das gesamte Herz ergeben (SPIESS und VERZÁR 1940/41, 248).

Der Grund für das ausführlichere Eingehen auf die physiologischen Arbeiten Daniel BERNOULLIs im Zusammenhang mit den Leistungen Leonhard EULERS auf diesem Gebiet ist derselbe, der schon die Beschäftigung mit BERNOULLI im vorangegangenen Kapitel über die physikalischen Prämissen notwendig erschienen ließ: Die persönliche Freundschaft zwischen beiden, ihr wissenschaftlicher Austausch und die Anregungen, die sie sich gegenseitig gaben. Die Anregungen kamen in der Physiologie allerdings in erster Linie von BERNOULLI, da in seinem Leben die Medizin einen wesentlich größeren Raum einnahm als bei EULER: Im Jahre 1733 erhielt er nach Rückkehr aus Petersburg in Basel die Professur für Anatomie, die er bis 1750 innehatte. Die daran geknüpfte Botanik, die ihm offenbar wenig Freude bereitete, "tauschte" er 1743 gegen die in der Professur für theoretische Medizin des Emmanuel KÖNIG II. (1668 - 1752) enthaltene Vorlesung für Physiologie (KOLB 1951). Schon Daniels Vater, Johann (I) BERNOULLI, hatte zwei Dissertationen, in denen er "mit Erfolg iatromechanische Ideen" vertrat (1690, 1694) vorgelegt, und auch Daniel BERNOULLI reichte mit erst 21 Jahren an der medizinischen Fakultät Basel seine 'Dissertatio physico-medica de respiratione' (2. 9. 1721) ein. Im Vorwort dazu heißt es: "... daß die Materie vor allen anderen dazu angetan ist, den Nutzen und die Notwendigkeit eines fruchtbaren und gediegenen Mathematikstudiums so

recht klar werden zu lassen, weil die Probleme in beide Gebiete, in Medizin und Mathematik sich erstrecken" (Zit. nach HUBER 1959, 29).

Der Widerstand, den BERNOULLI gegen seine hier erklärte Arbeitsweise, die Erkenntnisse aus den exakten Naturwissenschaften auf die Medizin anzuwenden, in Basel zu spüren bekam, veranlaßte ihn, am 30. März 1743 eine Verteidigungsschrift zu verfassen, aus der mir auszugsweise gestattet sei zu zitieren, da die überaus moderne Denkweise, mit der BERNOULLI seiner Zeit weit vorseilte, nicht treffender charakterisiert werden kann und indirekt auch für die Arbeitsweise EULERS, der sich expressis verbis dazu nicht geäußert hat, Gültigkeit besitzt:

"Man muß der Mathematik, obschon solche von einigen allhier sehr gering geschätzt wird, das wohlverdiente Lob zuschreiben, daß sie allein die übrigen Wissenschaften, so auß der Vernunft hergeleitet werden müssen, von vielen groben irrthümern und von allen praejudiciis gesäubert, und das wirkliche von den eingeschlichenen falschen erdichtungen abgesonderet habe; ich scheue mich nicht zu sagen, wan ich gleich dessen Verlachung von einigen vor sehe, daß was die Reformatores in unserer heiligen Religion gethan, solches Mathematici in den künsten und wüssenschaften verrichtet, deßwegen auch diese sciencz von den größten Potentaten so kräfttig beschützt und von allen Kennern so hoch gepriesen wird; diese wüssenschaft, soweit sich solche in mir erstrecken mag, hab ich mir in meiner Profession zu nutz gemacht, und wie sollte man wohl die vornehmsten theil der Anatomi ohne derselben hülff die osteologiam und myologiam ohne eine wahre erkanntnuß der mechanic, die structuram oculi ohne die optic, die structuram organi auditus ohne die acustica, die respirationis organa ohne die Geometrie und physik, die fabricam cordis et systematis vasorum sambt den legibus circulationis fluidorum ohne die hydrodynamica und so weiters tractieren können? Alles dieses hab ich mit großem Fleiß untersucht, meinen zuhörern getreulich gewiesen, und getrachtet solche auff den rechten weg und zur erkanntnuß der wahren wüssenschaft zu führen. Meine Lectionen würde ich mich nicht

scheuen trucken zu lassen, um solche dem uhrtheil aller gelehrten ja der Königlichen Akademien der wüssenschafften zu underwerffen" (Zit. nach KOLB 1951, 77).

In dem oben schon einmal zitierten Brief BERNOULLI's an EULER vom 25. Dezember 1743, der also auch in die Zeit der Auseinandersetzung BERNOULLI's mit seinen unverständigen Zeitgenossen fiel, erfährt man dann neben dem Grund, warum es nicht zu der beabsichtigten Veröffentlichung seiner Forschungsergebnisse in der Physiologie gekommen ist, eine auf die momentane Beschäftigung EULER's mit der Physiologie des Blutkreislaufes wichtige Andeutung. Er schrieb: "Es ist mir lieb zu vernehmen, daß Ew. eine pièce de pulsu arteriarum vorhaben: ich habe dieses argumentum schon lange untersucht und viele neue veritates darin entdeckt, unterdessen bleiben doch die meisten quaestiones indeterminatae. Übrigens sind viele nur deswegen indeterminatae, weil man nicht genugsam die debitas mensuras untersucht, die man doch per experimenta et observationes leicht haben könntete, sonderlich circa diametros canalium angulos inter se faciunt rami conspicui, crassities parietum, fibrarum extensibilitatem et virtutem contractilem, resistentias diversi generis, quas fluida pariuntur dum per canales fluunt etc. Meine idées wären, wie ich mir flattiere, nützlich: aber in Basel ist man gleichsam vergraben und findet keine subsidia" (FUSS 1843, 542).

In der Tat läßt sich zwischen diesem Hinweis aus BERNOULLI's Brief und einer Mitteilung von EULER an GOLDBACH am 28. August 1742, die lautet: "... hatte ich verwichenen Martium eine Piece über den Motum Fluidorum in Canalibus elasticis an die Académie des sciences nach Dijon, von welcher über diese Materie ein Preis von 30 Louisd'or bestimmt war, gesandt..." (JUŠKEVIČ und WINTER 1965, 116) mit einem hohen Grad an Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang konstruieren. Die Preisfrage hatte gelautet: "Determiner la différence de vitesse d'un liquide qui passe par des tuyaux inflexibles et de celui qui passe par tuyaux élastiques" (O II 13, LXXVII, Fußnote). Zwar war hier nicht ausdrücklich von einer Frage über die Haemodynamik die Rede, aber

wo anders als bei ihr hatte das hydrodynamische Gedankenmodell 'über den Motum Fluidorum in Canalibus elasticis' seine praktische und anschauliche Wurzel als in der Haemodynamik? EULER bedauerte selbst, daß er keine Kopien von seiner Abhandlung hatte, das Original hat er offenbar nie zurückerhalten. Auch die von BERNOULLI erwähnte Abhandlung über den Arterienpuls ist nicht aufzufinden oder auch nie in Druck gekommen. Wenn auch nach TRUESDELL (1955) mit dem Hinweis darauf, daß EULER seine allgemeine Form der Bewegungsgleichung erst Anfang der 50er Jahre des 18. Jahrhunderts aufgestellt hat, mit Sicherheit angenommen werden darf, daß in diesen Arbeiten noch nicht dieselben Methoden wie in der Arbeit 'Principia pro motu sanguinis...' angewandt werden konnten, so stellen sie doch ein wichtiges Beweisstück dafür dar, daß EULER sich offensichtlich mehr mit physiologischen Problemstellungen auseinandergesetzt hat, als aus seinen Werken direkt hervorgeht.

Im übrigen hatte im Jahre 1734 EULER gegenüber D. BERNOULLI den Wunsch geäußert, in Basel den Doktorgrad für Medizin zu erlangen und seine Absicht ausgesprochen, sich mit dieser Wissenschaft etwas mehr zu beschäftigen (O IV 1 A, 18/98). In den ersten Berliner Jahren war er auch dieser Absicht gefolgt und hatte Arbeiten über physiologische Themen geschrieben, denn BERNOULLI bat ihn 1744, darüber zu berichten (O IV 1 A, 33/153). Von diesen physiologischen Arbeiten ist allerdings meines Wissens bisher nichts aufgefunden worden, möglicherweise bringt die Aufarbeitung seiner bislang unveröffentlichten Manuskripte etwas mehr Licht in dieses noch im Dunkeln liegende Arbeitsfeld des Schweizer Mathematikers.

Der Einfluß des iatrophysikalischen und iatromathematischen Wirkens Daniel BERNOULLIs hatte sich natürlich nicht allein auf Leonhard EULER erstreckt, vielmehr gab es Physiologen, die, nach ihrem wissenschaftlichen Erbe gemessen, weitaus fruchtbarer die Anregungen BERNOULLIs aufgriffen und ganz speziell in ihr physiologisches Forschen einbezogen: Die Dissertation von Rudolf STÄHELIN (1724 - 1800) 'Depulsibus' (1749) stellte einen recht gelungenen Versuch

dar, das Gedankengut aus BERNOULLI's 'Hydrodynamica' auf die Vorgänge, die zur Entstehung und Modulation des Pulses führen, anzuwenden: Die Blutmenge, die das Herz ausstößt, trifft auf die hohen Widerstände im Gefäßsystem und sucht einen Ausweg in der Dilatation der Gefäßwände, wodurch gleichzeitig der Seitendruck (*pressio lateralis*) erhöht wird. Dieser Vorgang ist periodisch. Daß die Gefäße ihre gespeicherte Blutmenge jedesmal in dem gleichen Rhythmus, wie das Herz schlägt, wieder abgeben, hatte auch schon BORELLI erkannt, STÄHELIN übernahm diese Ansicht. Die veränderten Elastizitätsverhältnisse der Arterien alter Menschen erklärten ihm die Pulsveränderungen im greisen Organismus. Mit den Worten: "... melius inde erit statuere, sanguinem citius in aorta quam in arteriis capillaribus motus impressionem accipere et revera diversitas quaedam observatur, licet exigua" teilte er uns mit, daß er schon eine gewisse Vorstellung von einer, wie wir heute sagen, Pulswelle hatte, die mit einer bestimmten Verzögerung in der Peripherie eintrifft und den Bewegungsimpuls für das Blut darstellt (HUBER 1958, 52).

Auch Albrecht von HALLER (1708 - 1777)²⁶⁾, der die oben zitierte Arbeit STÄHELIN's in seinen 'Disputationes anatomicae' abdrucken ließ, hatte sich mit BERNOULLI's 'Hydrodynamica' soweit beschäftigt, daß er sehr wohl Schlüsse auf die Verhältnisse im Blutkreislauf zu ziehen vermochte, wenn er auch den Iatrophysiker nicht in allen Punkten verstand (s. Kap. 3.2.). Immerhin gab er schon einen Hinweis auf die gefährliche Wirkung des Seitendruckes auf krankhaft veränderte Gefäßwände wie z.B. beim Aortenaneurysma, die wenig später durch die Gleichung von LAPLACE (1749 - 1827), in der die Beziehung zwischen Druck, Wandspannung und Gefäßdurchmesser ($K = r p \text{ (dyn cm}^{-1}\text{)}$) dargestellt wird, eine Grundlage zu exakter Berechnung erhielt (GAUER 1960).

Mit folgender Würdigung im Vorwort seiner Nosologie: "Quaenam sit pressio sanguinis in vase quiescentis, docet vulgaris hydraulica, verum quaenam transfluentis sit pressio nuper tantum nos docuit illustrissimus Daniel BERNOULLI in Hydrodynamica" (1763) gab auch F. B. DE SAUVAGES

(1706 - 1767) den Impuls an, den er von D.BERNOULLI für seine Arbeit auf dem Gebiet der Haemodynamik erhalten hatte. In seinen 'anatomico-hydraulicae observationes de arteriarum pulsatione' (1757) versuchte er, wie bei HUBER (1958, 53) ausführlich erläutert wird, den die Dilation der Gefäßwände bewirkenden Seitendruck durch die Differenz der "velocitas virtualis" (Geschwindigkeit, die die Flüssigkeit durch ihre potentielle Energie haben könnte, wenn ihr keine Widerstände entgegenträten) und der "velocitas actualis" (Geschwindigkeit, die die Flüssigkeit unter Einwirkung aller Widerstände im Gefäßsystem erreichen kann) zu bestimmen. Er unterschied auch zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck ("pressio alterna" und "pressio continua"). Für ihn war die treibende Kraft im Gefäßsystem weniger, wie bei STÄHELIN, im aktiven Zusammenziehen der Gefäße vermöge ihrer Muskulatur zu suchen, sondern er beschäftigte sich stärker mit der Elastizität der Gefäßwände und nahm Messungen ihres "Elastizitätsmoduls" vor.

Ich möchte zu dem Standpunkt zurückkehren, der diesen Darstellungen aus der Geschichte der Kreislauflehre in der vorliegenden Arbeit einen Sinn gibt, nämlich zu der Frage nach den Voraussetzungen, die EULER für seine Arbeit 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' hinnehmen konnte und die sich aus den Forschungsergebnissen bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts ergaben. Zusammenfassend kann man feststellen:

Die Anatomie von Herz und Kreislauf war im wesentlichen erforscht. Das den Kreislauf durchströmende Blut war durch die Überwindung der ARISTOTELisch-GALENischen Vorstellungen frei von "Pneuma" und gehorcht als Flüssigkeit den schon länger bekannten Gesetzen der Hydrostatik und den eben entdeckten Gesetzen der Hydrodynamik. Das bildete die Grundlage zu einer zunehmenden Bereitschaft, die Physiologie des Kreislaufes durch exakte naturwissenschaftliche Methoden zu erforschen. Durch Experimente, Messungen und Berechnungen waren die, wie wir heute sagen, Windkesselfunktion der großen Gefäße, die Widerstände im Gefäßsystem, die Arbeit des Herzens, die die Blutströmung zu unterhalten

und die Widerstände zu überwinden hat, und auch schon in geringem Maße Relationen zwischen physikalischen Gesetzmäßigkeiten und pathologischen Veränderungen am Gefäßsystem bekannt.

Durch wenige, aber überzeugende Beweisstücke wissen wir, daß Leonhard EULER über die neuesten Ergebnisse der Haemodynamik informiert war und sich mit ihren Problemen selbst immer wieder beschäftigt hat.

Und wenn Daniel BERNOULLI in einem Brief an GOLDBACH vom 17. Juli 1730 - noch acht Jahre vor der Veröffentlichung seiner 'Hydrodynamica' - weit vorausschauend schrieb: "In diesen letzten Tagen habe ich eine neue Entdeckung gemacht, die von großem Nutzen für die Konstruktion von Wasserrohren sein kann, die aber vor allem in ein neues Zeitalter in der Physiologie führen wird" (Zit. nach TRUESDELL 1955, XXX), dann bleibt nur anzumerken, daß ihm der Lauf der geschichtlichen Entwicklung uneingeschränkt recht gegeben hat.

3.2. Die Auswirkungen der physikalischen Arbeiten EULERS zur Strömungslehre und der 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' auf die weitere Entwicklung der Kreislauflehre

Eine direkte Verarbeitung oder gar Weiterführung des in Leonhard EULERS physiologischer Arbeit 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' enthaltenen Gedankengutes von seiten der Mediziner ist nicht bekannt. Mit Sicherheit kann man behaupten, daß die nur als Fragment überlieferte Abhandlung keine Verbreitung über die Grenzen der Akademie hinaus gefunden hat; EULER hat wohl auch kaum daran gedacht und kaum direkte Konsequenzen oder Impulse aus seiner Arbeit für die praktische Medizin erwartet: Zum einen waren die praktischen Mediziner in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts noch weit davon entfernt, in größerem Umfange exakt naturwissenschaftliche Erkenntnisse aus Iatrophysik, Iatrochemie und Iatromathematik in den Bereich von Diagnostik und Therapie aufzunehmen, zumal natürlich auch diese Erkenntnisse das Stadium der Hypothese zumeist noch

nicht überwinden konnten, weil experimentelle Beweise beim damaligen Stand der wissenschaftlich-technischen Entwicklung oft noch nicht im Kreis der Möglichkeiten lagen.

Seit Andreas VESALIUS (1514 - 1564) die anatomischen Vorstellungen GALENS in 'De humani corporis fabrica' (1543) wesentlich korrigieren konnte und die klassische Anatomie in der zweiten Hälfte des 16. und 17. Jahrhunderts ihre im wesentlichen noch heute gültige Form erhielt, wurde es immer mehr die Aufgabe der medizinischen Wissenschaftler, den einzelnen morphologisch abzugrenzenden Strukturen eine ebenfalls genau abzugrenzende Teilfunktion innerhalb des Organismus zuzuteilen. Dieser großen Aufgabe hatte sich in besonderem Maße Albrecht von HALLER verschrieben. Sein enzyklopädisches Werk 'Elementa physiologiae corporis humani' (1756 - 1766) brachte viele neue Erkenntnisse, denen er in seinen Vorlesungen und durch die von ihm in Göttingen gegründete Zeitschrift 'Göttinger Gelehrte Anzeigen' schon zuvor eine relativ große Verbreitung zukommen lassen konnte. Der Stil seiner Physiologie war aber vornehmlich qualitativ, Maß und Zahl spielten bei der Erläuterung der Lebensvorgänge eine geringe Rolle (ROTHSCHUH 1953, 80). So besprach er zwar - offenbar in richtiger Einschätzung ihrer Bedeutung - die Arbeit D. BERNOULLIs und PASSAVANTS über die Berechnung der Herzarbeit (s. auch Kap. 3.1.2.2.) in seinen 'Elementa', griff aber in Unverständnis der von BERNOULLI gegebenen Grundlagen die Ergebnisse BERNOULLIs an, indem er die Strömungsarbeit zur Überwindung der Widerstände im Kreislauf überschätzte, obwohl bei BERNOULLI bzw. PASSAVANT auch auf diese Komponente eingegangen wurde, die aber als geringfügig und als praktisch zu vernachlässigen angesehen wurde (ROTHSCHUH 1953, 64). Bei HALLER wurde die Kraft des Herzens auch wieder wie bei BORELLI in Pfund angegeben und damit die wichtigste Aussage der BERNOULLI bzw. PASSAVANTschen Arbeit, nämlich die eindeutige physikalische Definition der Herzarbeit, ignoriert. Hatte also selbst der wohl größte Physiologe des 18. Jahrhunderts noch nicht die Qualifikation, physikalisch-mathematische Erkenntnisse und Arbeitsmethoden fruchtbar auf seinem Arbeitsgebiet zu verwenden, wieviel weniger konnte man bei den praktischen Me-

diziniern auf Verständnis hoffen.

Zum zweiten war der Ausgangspunkt für EULERS Beschäftigung mit physiologischen Problemen - wie z.B. der Berechnung der Blutströmung - nicht eine sich ihm aufdrängende physiologische Fragestellung mit dem Ziel, der praktischen Medizin neue Erkenntnisse zu vermitteln: Er versuchte, seine Bewegungsgleichungen in immer komplizierteren Fällen der Strömung von irgendwelchen Flüssigkeiten durch irgendwelche Rohre anzuwenden und wagte sich schließlich an die Lösung eines der kompliziertesten Fälle, nämlich an die Bewegung von Flüssigkeiten (im Spezialfall Blut) durch elastische Rohre (im Spezialfall Arterien) heran.

Diese beiden Spezialfälle waren es nun aber, die EULERS Versuch, einen generellen analytischen Ausdruck für die Bewegung des Blutes durch die Arterien zu finden, zum Scheitern verurteilten: EULER behandelte das Blut in seinen physikalischen Eigenschaften wie das Wasser: Da er die Dichte nicht erwähnte, ging er offenbar von einer Dichte = 1 aus und setzte eine laminare Strömung bei benetzbaren Gefäßwänden voraus. Laminare Strömung und Benetzbarkeit sind im wesentlichen im Kreislauf gegeben, aber das Blut ist eine inhomogene Flüssigkeit mit korpuskulären Bestandteilen und einer von der Zusammensetzung und der Strömungsgeschwindigkeit abhängigen Viskosität. EULER diskutierte diese Probleme nicht; am Stand der Erkenntnisse seiner Zeit gemessen, waren ihm sicherlich die Inhomogenität wie auch die Viskosität des Blutes bekannt, sie waren aber noch zu wenig erforscht, als daß er sie hätte rechnerisch erfassen können. Außerdem möchte ich behaupten, daß EULER von der o.g. Perspektive her, aus der er überhaupt wohl diese Arbeit geschrieben hatte, an diesen Größen nicht interessiert war. Das elastische Rohr, das zu seiner Zeit in praxi nur aus biologischem Material bestehen konnte, fand EULER z.B. in den Arterien verwirklicht, begab sich aber damit in ein wesentlich komplexeres System, als er in der Lage sein konnte, es rechnerisch zu erfassen. Wir kennen nicht den Anfang von EULERS Arbeit und wissen nicht, ob er dort vielleicht den Charakter eines stark vereinfachten

Kreislaufmodells näher erläuterte und auf die Größen einging, die er vernachlässigen wollte. Es ist aber kaum anzunehmen, daß er die verschiedenen Mechanismen, die die Gefäßweite beeinflussen, schon analysieren konnte. So erkannte er zwar, daß die Gefäßweite eine Funktion des Gefäßinnendruckes ist und gab hierfür auch die beiden Beziehungen

$$\text{I. } s = \varepsilon p / (c + p) \quad \text{und} \quad \text{II. } s = \Sigma (1 - \exp(-p/c)) \quad \text{an.}$$

Dehnung und Verengung der Gefäße ist demnach für ihn ein rein passiver Vorgang, der durch die Elastizität der Gefäße ermöglicht wird. Eine reaktive Kontraktion der Gefäßwand als Antwort auf die Erhöhung des Gefäßinnendruckes, wie wir sie heute kennen, ist erst seit BIEDL und REINER (1900) bekannt, sie hat nichts mit der Annahme STÄHELINS zu tun, die aktive Kontraktion der Gefäßwand sei eine treibende Kraft im Gefäßsystem. Mit der konsequenten Anwendung des Massenerhaltungssatzes (Kontinuitätsgleichung) und seiner Bewegungsgleichung beschrieb EULER jedoch in seiner Arbeit präzise die energetischen Verhältnisse bei dem schon von alters her bekannten Windkessel, dessen Prinzip er im Kreislauf angewandt sah. Allerdings prägten erst die Brüder Ernst Heinrich und Wilhelm Eduard WEBER in ihrer 'Wellenlehre' (1825) den Begriff der Windkesselfunktion der Aorta.

EULER machte wenig Experimente, deren Anzahl mit steigendem Alter auch noch weiter abnahm. Von ihm durchgeführte Messungen einzelner Kreislaufgrößen sind nicht überliefert. Es war auch nicht sein Arbeits- und Interessengebiet, sich mit der Konstruktion irgendwelcher Messapparaturen zu beschäftigen. Hier kam der entscheidende Durchbruch erst im 19. Jahrhundert, z.B. durch die Erfindungen von Etienne Jules MAREY (1830 - 1904), Otto FRANK (1865 - 1944), Adolf FICK (1829 - 1901) und anderen (GAUER 1960). Damit wurde auch eine mathematisch-physikalische Kreislauflehre begründet. Gerade aber im Fehlen jeglicher experimenteller Untermauerung ist es erstaunlich, zu welch beachtlichen Ergebnissen EULER allein durch die Analysis auf der Grundlage eines Gedankenmodells gelangte. Diese Erkenntnisse seien vor der Erörterung, inwieweit sie in den folgenden Generationen aufgegriffen wurden, noch einmal zusammenfassend aufgeführt:

1. Im Blutkreislauf müssen die Gesetze aus der allgemeinen Hydromechanik anwendbar sein. Es ist prinzipiell möglich, unter Anwendung der allgemeinen Bewegungsgleichung und der Kontinuitätsgleichung Kreislaufgrößen wie Druck, Strömungsgeschwindigkeit, Gefäßweite sowie den vom Herzen den Gefäßen zugeführten Energiezuwachs während der Systole in bestimmten zeitlichen und räumlichen Grenzen zu berechnen.
2. Es existiert eine bestimmte mathematisch faßbare Beziehung zwischen Blutdruck und Gefäßweite.
3. Das Herz kann im Kreislaufmodell als Pumpe in einem geschlossenen Gefäßsystem aufgefaßt werden, das durch periodische Pumpaktionen ebenfalls periodisch Energie durch Dehnung der elastischen Gefäßwände aufnehmen und danach durch die Elastizität wieder abgeben kann, wobei alle Kreislaufgrößen im Anschluß an jede Periode wieder zu ihrem Ausgangswert zurückkehren.

In methodisch ähnlicher Weise wie bei EULER wurde das Thema der Blutbewegung erstmals wieder von dem englischen Arzt, Physiker und Ägyptologen Thomas YOUNG (1773 - 1828) in seinen 'Hydraulic investigations...' (1808) aufgegriffen. Darin machte er den Versuch, eine Analogie zwischen Wellen einer kompressiblen Flüssigkeit in einem starren Rohr und Wellen einer inkompressiblen Flüssigkeit in einem elastischen Rohr herzustellen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $c = \sqrt{E/\rho}$ geht auf die NEWTONsche Formel zurück, in der auch die Elastizitätskonstante E erscheint, die er aus einem Elastizitätsgesetz herleitete, das enger an die physikalische Erfahrung gelehnt ist, als es die Formeln I. und II. von EULER (s. oben) sind. Seine Rechnung ist allerdings ein "Wirrwarr von unverständlicher Algebra und numerischen Vermutungen, jedoch hatte BOULANGER (1913) genügend Leidenschaft, sie zu prüfen und hat sie als im Prinzip korrekt deklariert" (nach TRUESDELL 1955, LXXVIII). Vermißt man bei den Arbeiten aus dieser Zeit auch noch weitgehend Literaturangaben, so ist es um so bemerkenswerter, daß der Name EULER im Text neben anderen bei YOUNG erwähnt wurde. Daraus kann freilich nur der Schluß gezogen werden, daß YOUNG die physikalisch-mathematischen Grundlagen unter anderem den EULERSchen Arbeiten zur Hydrodynamik entnommen hatte, nicht aber, daß er die

biomathematische Arbeit 'Principia pro motu sanguinis...' kannte, weil diese erstmals im Jahre 1862 von P. H. FUSS aus dem EULERSchen Nachlaß veröffentlicht wurde. Darüber, daß YOUNG den unveröffentlichten Nachlaß EULERS kannte, ist mir nichts bekannt.

EULERS allgemeine Bewegungsgleichung, allerdings in einer linearen Form, wurde von neuem von Wilhelm WEBER (1804 - 1891) in der Arbeit 'Theorie der durch Wasser und andere incompressible Flüssigkeiten in elastischen Rohren fortgepflanzten Wellen' (1866) aufgegriffen. Diese Arbeit wurde von seinem Bruder, dem Anatom und Physiologen E. H. WEBER (1795 - 1878) im Jahre 1866 publiziert. Schon dessen Buch 'Wellenlehre auf Experimente gegründet' (1825) war eine Gemeinschaftsarbeit mit dem Mathematiker und Physiker Wilhelm WEBER. Die hier gemeinsam gewonnenen Erkenntnisse wandte wiederum der Physiologe in seiner Abhandlung 'De pulsu, tactu et auditu' (1834) an (ROTHSCHUH 1953, 110). Die Gebrüder WEBER hatten also schon jahrzehntelang gemeinsam unter anderem an den Grundlagen einer Physik des Kreislaufs gearbeitet und hatten dabei methodisch an die Wege BERNOULLIs oder auch EULERS angeknüpft: die mathematisch-physikalische Art der Durchdringung physiologischer Probleme. Somit bedurfte es keines besonderen Hinweises - der auch tatsächlich in der Arbeit nicht gegeben wurde - in der o.g. 'Theorie' W. WEBERS, daß hier in einem Gedankenmodell die Haemodynamik einer mathematisch-physikalischen Bearbeitung unterzogen werden sollte. Überdies wurde hier meines Wissens auch erstmals eine derartige Theorie durch das Experiment gestützt: Gemeinsam mit dem Bruder Theodor WEBER hatte E. H. WEBER (1850) Messungen über die "Geschwindigkeit, mit welcher Wasserwellen in einer langen Röhre von vulkanisiertem Kautschouk fortgepflanzte werden" (WEBER, W. 1866) durchgeführt, die dann mit der Theorie W. WEBERS (auch schon 1850 entwickelt) in ihren Ergebnissen verglichen wurden, wobei weitgehende Übereinstimmung konstatiert werden konnte.

ROTHSCHUH (1953, 111) charakterisiert die Arbeitsrichtung der Gebrüder WEBER - ein "teamwork", wie wir heute sagen würden - mit folgenden Worten: Sie "war die Wegbereitung für die

exakte physikalische Epoche der Physiologie, die mit E. Du BOIS-REYMOND, H. v. HELMHOLTZ und C. LUDWIG die Glanzzeit der deutschen Physiologie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts heranführte".

Sicherlich waren die Zeitabstände, in denen die von Leonhard EULER begonnene Arbeit an einer quantitativen Modellierung des Kreislaufs fortgesetzt wurde, noch sehr groß: Die kühnen, durch den genialen Analytiker EULER geführten Berechnungen konnten beim damaligen wissenschaftlich-technischen Niveau noch keine Chance haben, durch experimentelle Untermauerung und genauere Erfassung der Kreislaufgrößen Anerkennung weder in der praktischen noch in der theoretischen Medizin zu finden (WINAU 1973). Andererseits mußten Gegenströmungen zur Iatrophysik (wie auch zur Iatrochemie) - z.B. das unter dem Einfluß der SCHELLINGschen Philosophie im Anfang des 19. Jahrhunderts aufgeblühte "romantische Zwischenspiel" in der Medizin (ROTHSCHUH 1953, 94) - überwunden werden, ehe die Entwicklung der Experimentalphysiologie der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch die Erfindungen von mechanischen und später auch elektrischen Registriergeräten (für viele steht der Name MAREY) ihren Aufschwung erfahren konnte.

Es ist nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit, die Geschichte der Kreislaufmechanik bis zur Gegenwart zu verfolgen; es soll aber abschließend ein kurzer Blick in die moderne Kreislaufphysiologie verdeutlichen, daß die Problematik, die sich EULER in seiner biomathematischen Arbeit 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' gestellt hatte, keineswegs ad acta gelegt werden kann. Nachdem die von der mechanischen bis hin zur elektronischen reichende Meßtechnik die Physiologen zunehmend in Stand gesetzt hat, die Kreislaufparameter, seien es nun die aktiven, die reaktiven oder die passiven Veränderungen der Gefäßwand einerseits oder die von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Blutes bedingten Größen andererseits, immer exakter zu erfassen, fällt dem - von den Anfängen bei BORELLI, BERNOULLI und EULER abgesehen - jungen Wissenschaftszweig "Biomathematik" in steigendem Umfang die Aufgabe zu, an der Entwicklung eines

globalen Herz-Kreislauf-Modells mitzuarbeiten und durch diese quantitative Modellierung dem Mediziner wichtige Erkenntnisse über noch ungeklärte Probleme der Kreislauf-forschung zu vermitteln. Nach HARTUNG (1972) ist man bei der Entwicklung eines solchen Modells wegen der Vielzahl biophysikalischer Phänomene gezwungen, selektiv und diskret vorzugehen: Man vereinigt wesentliche und kontinuierliche Eigenschaften des Kreislaufs in Punkten und Teilsystemen, sogenannten Compartments, und aggregiert sie über eine Schaltung zu einem Gesamtsystem. Die hierbei auftretenden Probleme liegen nach GAUER (1960, 119) darin, daß einerseits die "ausführliche mathematische Analyse vor jedem Versuch warnt, mit vereinfachenden Annahmen das Rechenverfahren abzukürzen, weil sie zu schweren Irrtümern führen können", andererseits "liefern Formeln, die große Abweichungen von der biologischen Wahrheit in Kauf nehmen, 'vernünftige' Resultate".

Im 20. Jahrhundert sind sich die Physiologen der Bedeutung EULERS bei der Erarbeitung der Grundlagen der Hydrodynamik durchaus bewußt. Darüber hinaus findet auch EULERS Fragment zur Haemodynamik nach langer Vergessenheit wieder Beachtung: So geht MÜLLER (1935, 89) ausführlich auf die Ableitung der EULERSchen Bewegungs- und Kontinuitätsgleichung (s.S. 36) ein und hebt damit die Bedeutung dieser physikalisch-mathematischen Leistung für die theoretische Durchdringung der Kreislaufmechanik hervor. WETTERER und KENNER (1968) geben sogar in ihrem Werk 'Grundlagen der Dynamik des Arterienpulses' EULERS 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' im Literaturverzeichnis an, ohne allerdings die Aussagen dieser Arbeit in ihrem Text ausdrücklich zu erwähnen. Damit ist in einer primär nicht geschichtlich orientierten Darstellung EULERS direkter Beitrag zur biomathematischen Bearbeitung der Kreislaufdynamik als Quelle erkannt worden. Das Bestreben nach einer möglichst lückenlosen Erfassung der Wurzeln unseres heutigen Wissens kommt darin zum Ausdruck - ein Anliegen, dem auch die vorliegende Abhandlung verpflichtet ist.

3.3. 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' von Leonhard EULER (1862, 814 - 823)

EULERS biomathematische Arbeit 'Principia pro motu sanguinis per arterias determinando' stammt aus seinem Nachlaß. P.H. FUSS hat sie erstmals 1862 in den von ihm herausgegebenen 'Opera postuma' veröffentlicht. Er datierte die Arbeit auf das Jahr 1775.

EULERS Abhandlung ist ein Fragment, das erst mit § 15 beginnt. Über das Schicksal der ersten 14 Paragraphen, in denen EULER vermutlich die mathematisch-physikalischen Grundlagen behandelte, ist nichts Gesichertes bekannt, ebenso wenig über die Gründe, die ihn veranlaßten oder auch zwangen, von einer Veröffentlichung in seinen letzten 8 Lebensjahren Abstand zu nehmen.

Neben Vorbemerkungen zur Übersetzung sollen im folgenden die Übersetzung und das lateinische Original der Arbeit vorgelegt werden.

3.3.1. Vorbemerkungen des Übersetzers

Bei der Übersetzung habe ich mich bemüht, im Satzaufbau und in der Formulierung möglichst nahe am lateinischen Original zu bleiben, ohne dabei aber barocke Formulierungen, die den fachlichen Inhalt verschleiern oder eindeutige Aussagen verhindern könnten, sich aber bei einer wörtlichen Übersetzung zwangsläufig ergeben, zuzulassen. Insofern erfolgte also auf der Grundlage des fachlichen Inhalts eine Überarbeitung, wobei das EULERSche Gedankengut ohne Kritik aus der Originalform übernommen wurde. Es kam mir nicht darauf an, moderne Symbolik oder Erkenntnisse einzuarbeiten; ich habe aber die Fachausdrücke zum besseren Verständnis weitgehend dem modernen Sprachgebrauch angepaßt und durch Fußnoten erläutert.

3.3.2. Prinzipien zur Bestimmung der Bewegung des Blutes durch die Arterien

Von Leonhard EULER, am 21. Dezember 1775

§ 15. Da nun die Beziehung zwischen p ¹⁾ und s ¹⁾ bekannt ist, soll jetzt die Beziehung dp/dz bestimmt werden, bei der allein z ¹⁾ als Variable auftritt. So findet man:

$$dp/dz = (c/(\varepsilon - s)^2) (\varepsilon(ds/dz) - sd\varepsilon/dz).$$

Dieser Ausdruck kann kürzer so wiedergegeben werden:

$$dp/dz = (c\varepsilon^2/(\varepsilon - s)^2) (d(s/\varepsilon)/dz).$$

Und somit nimmt die zweite Gleichung²⁾ die folgende Form an:

$$(2gc\varepsilon^2/(\varepsilon - s)^2) (d(s/\varepsilon)/dz) + v(dv/dz) + (dv/dt) = 0.$$

Darin sind jetzt nur noch die beiden von den unabhängigen Variablen z und t abhängigen Funktionen s und v enthalten.

§ 16. Wir wollen die beiden Gleichungen³⁾ weiter umformen und geben sie folgendermaßen wieder:

Die Fußnoten dieser deutschen Fassung sind Anmerkungen des Übersetzers.

- 1) p und s bedeuten den räumlich (z) und den zeitlich (t) veränderlichen Druck bzw. die Fläche (den Querschnitt) des (elastischen) Rohres, durch das die Flüssigkeit gepreßt wird; z ist die Raumkoordinate in Richtung der Längsachse des Rohres, ε die maximale Amplitude des Rohres.
- 2) Diese Gleichung wurde offenbar in den vorangegangenen Paragraphen, die bei dem Fragment fehlen, abgeleitet.
- 3) Sie stellen Massenerhaltungssatz und die eigentliche Bewegungsgleichung dar.

$$\text{I. } v(ds/dz) + s(dv/dz) + ds/dt = 0$$

$$\text{II. } dv/dt + v(dv/dz) + (2gc\epsilon^2/(\epsilon - s)^2) (d(s/\epsilon)/dz) = 0$$

Nun wollen wir von der zweiten, mit s multiplizierten, die erste Gleichung subtrahieren, nachdem wir diese mit v multipliziert haben. So erhalten wir folgende Gleichung:

$$s(dv/dt) - v^2(ds/dz) - v(ds/dt) + (2gcs\epsilon^2/(\epsilon - s)^2) (d(s/\epsilon)/dz) = 0.$$

Sie faßt auf diese Weise die beiden Gleichungen I und II zusammen.

§ 17. Anstelle der Annahme, daß $s = \epsilon p/(c+p)$ ist, wollen wir jetzt die folgende Beziehung benutzen:

$$s = \epsilon(1 - \exp(-p/c)).$$

Durch sie werden annähernd dieselben Verhältnisse beschrieben. Danach würde sich also ergeben:

$$p = c \ln(\epsilon/(\epsilon - s)) \quad \text{und weiter}$$

$$dp/dz = (c\epsilon/(\epsilon - s)) (d(s/\epsilon)/dz).$$

Gegenüber der eben angegebenen ist diese Gleichung wesentlich einfacher. Sie wird also anstelle der Gleichung

$$dp/dz = (c\epsilon^2/(\epsilon - s)^2) (d(s/\epsilon)/dz)$$

sicherlich angewandt werden können.

Entwicklung des Falles, bei dem das Rohr als starr angenommen wird.

§ 18. Da keine Möglichkeit bekannt ist, wie die Gleichung in ihrer allgemeinen Form zu lösen sei, soll von dem hinreichend bekannten Fall ausgegangen werden, daß das Rohr, durch das die Flüssigkeit hindurchgetrieben wird, starr

ist. Sein Durchmesser s ist also immer gleich der maximalen Amplitude Σ , die jetzt nur noch eine Funktion der Variablen z allein ist. Für diesen Fall können wir somit $ds/dt = 0$ setzen. Die beiden die Bewegung beschreibenden Gleichungen ¹⁾ lauten nun folgendermaßen:

$$\text{I. } d(vs)/dz = 0 \quad \text{II. } 2g(dp/dz) = -(dv/dt) - v(dv/dz).$$

§ 19. Bei der ersten dieser beiden Gleichungen, und zwar in der Form $d(vs)/dz$, wird allein die Größe z als variabel festgelegt, während die Zeit t konstant bleibt. Ihr zeitliches Integral wird daher $vs = T$ sein, und T bezeichnet so irgendeine Funktion von t selbst, die aber für alle Orte des Rohres dieselbe sein muß. Die Weite ²⁾ des Rohres an der Stelle, wo der Kolben die Flüssigkeit vorantreibt, wird $= b$ gesetzt und die Geschwindigkeit des Kolbens mit V festgelegt. Wenn der beliebige Raumpunkt Z ³⁾ an die Stelle des Kolbens übertragen wird, ist ersichtlich, daß die Weite s in b , die Geschwindigkeit v aber in V übergeht ⁴⁾, wobei V allein von der Zeit t abhängt und daher jene Funktion $T = bV$ sein wird. So stellt sich uns die erste Gleichung nach dem Integrieren als $sv = bV$ oder $v = bV/s$ dar. In den einzelnen Punkten Z des Rohres wird die Geschwindigkeit der Flüssigkeit umgekehrt proportional der Weite des Rohres $= s$ sein, so wie es die Theorie der Bewegung von Flüssigkeiten durch Rohre fordert.

1) Sie entsprechen den beiden Gleichungen I und II von § 16, deren erste den Massenerhaltungssatz, die zweite die eigentliche Bewegungsgleichung bedeutet.

2) Gemeint ist die Flächengröße eines Rohrquerschnitts.

3) EULER unterscheidet hier also in seiner Symbolik zwischen einem festen, aber beliebigen Raumpunkt Z (Ortskoordinate, einem bestimmten, aber beliebigen Wert von z) und der räumlichen Variablen z . Aus den späteren Paragraphen wird klar, daß Z sich auf den Raum $ABCD$, in dem sich der Kolben der Pumpe bewegen kann, z sich jedoch auf das anschließende Rohr $CDMN$ bezieht (s. "Fig. 277" und § 22).

4) Gemeint ist damit die Anfangswertbestimmung: Als Anfangswert der räumlichen Koordinate wird der Ort des Kolbens genommen.

§ 20. Da wir also aus der ersten Gleichung die Formel $v = bV/s$ erhalten haben, in der V allein eine Funktion der Zeit t , s aber eine Funktion allein der Größe z ist, so wollen wir diesen Ausdruck in die zweite Gleichung einsetzen. Mit $dv/dt = (b/s) (dV/dt)$ und $dv/dz = -(bV/s^2) (ds/dz)$ nimmt sie diese Form an:

$$2g(dp/dz) = -(b/s) (dV/dt) + b^2 V^2 s^{-3} (ds/dz) ,$$

aus der der Druck p bestimmt werden muß. Sein Differential ist dp und hängt allein von der Variablen z ab. Die Zeit t wird in dieser Gleichung als konstant angenommen, ebenso daher auch die Größen, die allein von t abhängen, und zwar V und dV/dt ¹⁾. Unsere Gleichung sieht dann nach Multiplikation mit dz so aus:

$$2gdp = -b(dV/dt) (dz/s) + b^2 V^2 s^{-3} ds$$

und integriert ergibt sie dann

$$2gp = -b(dV/dt) \int (dz/s) - 0,5 b^2 V^2 s^{-2} + T.$$

Dabei bezeichnet T eine Funktion der Zeit, zu deren Bestimmung wir, der Fragestellung entsprechend, den Punkt Z an der Stelle annehmen sollen, an der der Kolben momentan wirkt. Hier ist $s = b$, das Integral $\int (dz/s)$ hat an dieser Stelle den Wert Null. Der Druck p ist gleich dem Druck, den der Kolben auf die Flüssigkeit ausübt; er wird $= P$ gesetzt. Am Ort des Kolbens wird die Gleichung also zu

$$2gP = -0,5 V^2 + T \quad \text{bzw. für } T = 2gP + 0,5 V^2.$$

Nach Einsetzen dieser Beziehung wird dann unsere zweite Gleichung folgendermaßen aussehen:

$$2gp = -b(dV/dt) \int (dz/s) - 0,5 b^2 V^2 s^{-2} + 2gP + 0,5 V^2 \quad \text{oder}$$

$$2gp = 2gP + 0,5 V^2 (1 - b^2 s^{-2}) - b(dV/dt) \int (dz/s).$$

¹ Das soll heißen, daß die Gleichung für einen beliebigen festen Zeitpunkt t räumlich integriert wird.

§ 21. (Fig. 277) Die Figur ABCD gebe nun eine Pumpe wieder, die zu Beginn mit Flüssigkeit gefüllt gewesen ist, während das angefügte Rohr CDMN gänzlich leer war. Die Weite der Pumpe soll überall konstant gleich b sein. Nach dem Verstreichen der Zeit t aber soll die Flüssigkeit durch Betreiben des Kolbens soweit vorangetrieben sein, daß sie jetzt den Raum XPMN einnimmt. Die Masse der Flüssigkeit, die anfangs den Raum ¹⁾ ABPX innehatte, füllt nunmehr das Rohr CDMN aus. Wenn wir den Abschnitt $AX = X$ setzen, ist der Raum ABPX = bX . Jetzt aber muß der Kolben, der im Querschnitt PX wirkt, einen Druck mit der Größe P ausüben, sodaß seine gesamte Kraft dem Gewicht der Masse der Flüssigkeit, dessen Volumen gleich bP ist, gleich sein wird. Auf diese Weise bezeichnet nämlich der Buchstabe P denjenigen Druck, unter dem die Flüssigkeit längs XP steht, wie wir es schon früher festgelegt hatten. Wenn weiterhin V die Geschwindigkeit der Flüssigkeit im Querschnitt PX bezeichnet, mit der sie während des kleinen Zeitintervalls dt durch den kleinen Raum dX voranbewegt wird, dann ist $dX = Vdt$ und deshalb $X = \int Vdt$. Wesentlich ist dabei, daß die Größen V , P und X nur als Funktionen allein der Zeit t betrachtet werden können. Nach diesen Festlegungen ist also das Volumen CDMN, das die Flüssigkeit jetzt in dem Rohr einnimmt, = $bX = b \int Vdt$. Wir nehmen natürlich das Integral $\int Vdt$ so, daß es für den Zeitpunkt $t = 0$ gleich Null ist. Weiterhin setzen wir die Gesamtlänge der Pumpe $AC = a$, der dann überall dieselbe Weite = b zukommt. So wird die gesamte Masse ²⁾ der Flüssigkeit, auf die der Kolben einwirkt, = ab werden, wobei angemerkt sei, daß b eine zweidimensionale Größe ³⁾ ist.

- 1) Gemeint ist stets ein Raumvolumen, d.h. $AB = b$ der Fig. 277 (s.S. 76) ist eine Fläche, wie auch am Ende dieses Paragraphen ausdrücklich betont wird.
- 2) Hier ist natürlich nicht die Masse, sondern das Volumen gemeint, das die gesamte Flüssigkeit einnimmt. Hat jedoch EULER die Dichte des Blutes = 1 gesetzt (vgl. S. 49 und Fußnote 1) S. 68), dann wäre Masse gleich Volumen.
- 3) s. 1) und Fußnote 2) § 19 S. 58!

§ 22. Wenn wir nun die gefundenen Gleichungen an diese Verhältnisse ¹⁾ anpassen wollen, so setzen wir den Anfang des der Pumpe angefügten Rohres nach CD und nennen das Intervall $CZ = z$, die Weite in Z sei $ZV = s$ und der Druck gleich p. Für die Geschwindigkeit haben wir bereits gefunden $v = bV/s$. Es bezeichnet nun Z den Wert des Integrals $\int b \, dz/s$, der für $z = 0$ ebenfalls gleich Null werden muß. Zuvor müssen wir aber noch den Anteil des Integrals bestimmen, den es durch Übertragung des Punktes Z nach X bekommt ²⁾, wobei sich folgende Gleichung ergibt:

$$\int b \, dz/s = Z + a - X = Z + a - \int v \, dt.$$

Anstelle von $\int b \, dz/s$ wird jetzt also dieser Ausdruck eingesetzt, und unsere Gleichung wird dann so aussehen:

$$2gp = 2gP + 0,5 \, v^2 (1 - b^2 s^{-2}) - (dV/dt) (Z + a - \int v \, dt).$$

Um diese Gleichung an die gesamte im Rohr enthaltene Flüssigkeitsmenge anzugleichen, wird der beliebige Punkt Z vom Punkt C bis zum Punkt M vorwärtsbewegt werden müssen, und man setzt $z = CM$. Das Volumen $CDMN$, das durch $\int s \, dz$ berechnet werden kann, ist gleich dem Volumen $bX = b \int v \, dt$. Diese Gleichung gilt jetzt für das gesamte Intervall CM. Allerdings wird sie solange noch nicht angewandt werden können, solange nicht die Beziehung der Weite s zu z bekannt sein wird.

§ 23. Es sei nun das Intervall $CM = \omega$, die Weite in diesem Bereich $MN = \sigma$ und der Druck mit π bezeichnet. Nachdem $z = \omega$ gesetzt worden ist, gehe der Wert des Integrals

1) die in § 21 beschrieben wurden

2) Im Pumpenraum ABDC hat s den Wert b, die Integration von AB bis XP ergibt also den Wert $a - X$. Man berücksichtige, daß EULER für verschiedene Sachverhalte und Größen oftmals den gleichen Buchstaben verwendet.

$\int b \, dz/s) = Z$ in Ω über. Für den Fall, den wir hier behandeln, wird das Integral $\int s \, dz$ von $z = 0$ bis $z = \omega$ genommen, und es wird daher gleich $a \cdot b$. Diese letzteren Größen können auch zur Charakterisierung eines solchen Zustandes herangezogen werden, bei dem das Rohr schon anfangs mit Flüssigkeit angefüllt war und jetzt aus der Öffnung MN ausfließt. In diesem Falle werden die Größen ω , σ und Ω Konstanten sein. Hier aber werden wir sie als Funktionen der Zeit t ansehen. Der Druck π aber kann im Rohr immer, ob die Flüssigkeit nun ausfließt oder begrenzt wird, als bekannt betrachtet werden. Dieser Umstand ist der Aufgabe, die Bewegung der Flüssigkeit zu bestimmen, dienlich. Ansonsten wäre dieses Problem nicht zu lösen.

§ 24. Wir wollen somit also die Bewegung der Flüssigkeit genauer bestimmen und bewegen den Punkt Z ¹⁾ nach M ²⁾, setzen $z = \omega$, Z ¹⁾ $= \Omega$, $s = \sigma$ und $p = \pi$ und finden dadurch diese Gleichung:

$$2g\pi = 2gP + 0,5 \, V^2(1 - b^2\sigma^{-2}) - (dV/dt)(\Omega + a - \int V dt),$$

in der alle Größen nur mehr Funktionen der Zeit t sind und unter denen allein die Geschwindigkeit V unbekannt ist. Ihr Wert kann durch die anderen Größen ausgedrückt werden. Ein solches Vorgehen scheint aber nicht vorteilhaft zu sein, da V im Ausdruck $\int V dt$ unter dem Integral auftritt. Deshalb ist es notwendig, daß wir diese Gleichung in eine andere Form umwandeln, die leichter behandelt werden kann. Dies wird am einfachsten erreicht, wenn wir anstelle der Zeit t das Intervall $AX = X$ selbst einführen, wobei X wiederum eine Funktion allein der Zeit t ist. Aus der Beziehung $\int V dt = X$ erhalten wir $dt = dX/V$. So bekommen wir die

1) Siehe auch Fußnote 2) § 22

2) Gemeint ist, daß die Gleichung für die Stelle $Z = M$ genommen wird.

folgende Gleichung:

$$2g\pi = 2gP + 0,5 V^2(1 - b^2_{\sigma^{-2}}) - V(dV/dX)(\Omega + a - X),$$

die, setzen wir $V^2 = 2y$, diese Form annimmt:

$$2g\pi = 2gP + y(1 - b^2_{\sigma^{-2}}) - (dy/dX)(\Omega + a - X).$$

Die Lösung dieser Gleichung bereitet keine weiteren Schwierigkeiten, da wir jetzt die Geschwindigkeit V als eine bekannte Funktion der Größe X betrachten können.

§ 25. Nachdem nunmehr diese letzte Gleichung aufgestellt worden ist, kann die Zeit t wiederum leicht in die Rechnung eingeführt werden. Da die Geschwindigkeit V als bekannte Funktion der Zeit betrachtet werden kann, ergibt sich an den einzelnen Orten des Rohres bequem genug eine Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Druck der Flüssigkeit. Aus der letzten Gleichung ¹⁾ entsteht nach Umformung:

$$dV/dt = (2g(P - \pi) + 0,5 V^2(1 - b^2_{\sigma^{-2}}))/(\Omega + a - X).$$

Dieser Ausdruck für dV/dt wird in die Gleichung für den Druck p eingesetzt, welche damit folgende Form annimmt:

$$2gp = 2gP + 0,5 V^2(1 - b^2_{\sigma^{-2}}) - (2g(P - \pi) + 0,5 V^2(1 - b^2_{\sigma^{-2}})) \cdot (Z + a - X)/(\Omega + a - X).$$

Die Berechnung wird auf folgende Weise kürzer: Aus den beiden Gleichungen:

1) Gemeint ist die erste im Paragraphen 24 angegebene Gleichung und nicht die "letzte", da hier schon für V^2 das Symbol y eingesetzt worden war.

$$2g_p = 2g_P + 0,5 v^2 (1 - b^2 s^{-2}) - (dv/dt) (Z + a - X)$$

und

$$2g_\pi = 2g_P + 0,5 v^2 (1 - b^2 \sigma^{-2}) - (dv/dt) (\Omega + a - X)$$

ergibt sich die Differenz

$$2g(p - \pi) = 0,5 b^2 v^2 (\sigma^{-2} - s^{-2}) - (dv/dt) (Z - \Omega),$$

aus der schon leicht zu jeder beliebigen Zeit für jeden beliebigen Ort Z der Druck p der Flüssigkeit berechnet werden kann. Somit ist alles, was man über die Bewegung zu erfahren erwarten kann, durch die aufgestellten Gleichungen und Beziehungen zusammengetragen.

Anwendung auf das überall gleich weite Rohr

§ 26. Es sei die Weite des Rohres in CM überall dieselbe, nämlich c , d.h. es kann $s = c$ gesetzt werden. Daraus folgt $f ds ds = cz$ und mit $z = \omega$ wird $c\omega = bX$ bzw. $\omega = bX/c$.

Weiter werde die Weite des Rohres auf die Weite der Pumpe bezogen: $c = nb$. Damit ergibt sich ω zu $\omega = X/n$ und wegen der obigen Festsetzung gilt ebenfalls $\sigma = c = nb$. Ferner erhält man: $Z = \int (bdz/c) = z/n$ und daher $\Omega = \omega/n = X/n^2$. Am Ort M aber, wo die Flüssigkeit begrenzt wird, ist der Druck gleich Null, d.h. $\pi = 0$, wodurch unsere für diese Stelle gültige Gleichung folgendermaßen lautet:

$$0 = 2g_P + 0,5 v^2 (1 - n^{-2}) - v(dv/dX) (a + (X/n^2) - X).$$

Für einen beliebigen Ort Z gilt dann aber entsprechend:

$$2g_p = 2g_P + 0,5 v^2 (1 - n^{-2}) - v(dv/dX) (a + (z/n) - X).$$

§ 27. Die an den Randpunkt angepaßte Gleichung, in der also für diesen Punkt M nur X als Variable auftritt, multipliziert man mit $2dX$ und erhält:

$$0 = 4g_P dX + v^2 (1 - n^{-2}) dX - 2v dv (a + (X/n^2) - X).$$

Die Integration ergibt dann:

$C = 4g \int PdX - av^2 + v^2(1 - n^{-2})X$ und nach Umformung folgende Gleichung:

$$v^2 = (C - 4g \int PdX) / ((1 - n^{-2})X - a).$$

Den Wert der Konstanten C bestimmen wir, indem wir die zum Beginn der Bewegung des Kolbens vorhandenen Größen einsetzen. Die Kraft P des Kolbens werde als Konstante = B angenommen und für $X = 0$ wäre dann auch die Geschwindigkeit $v = 0$ gewesen. Wegen $\int PdX = BX$ wird für $X = 0$ auch dieser Integralwert und daher auch die Konstante $C = 0$ sein. So erhalten wir also:

$$v^2 = 4gBX / (a - (1 - n^{-2})X).$$

Wenn der Kolben durch die gesamte Pumpe, d.h. durch den Raum $AC = a$ voranbewegt worden ist, dann wird $X = a$ und damit $v^2 = 4n^2gB$. Desweiteren ist $CM = a/n$ ¹⁾. Mit dieser Geschwindigkeit aber wird daraufhin die Flüssigkeit gleichförmig voranbewegt, wenn nicht eine erneute Wirkung des Kolbens erfolgt und Flüssigkeit abfließt.

§ 28. Während nun aber die Wirkung des Kolbens, dessen Kraft wir als konstant angenommen haben, andauert, dann kann an jedem Ort Z des Rohres mit Hilfe der zweiten Gleichung aus § 26 leicht der Druck p bestimmt werden. Wird nämlich von ihr die vorhergehende ²⁾ subtrahiert, dann bleibt folgende Gleichung übrig:

$$2gp = v(dv/dX) ((X/n^2) - (z/n)).$$

1) Die Bedeutung von n siehe § 26 und Fig. 277!

2) Gemeint sind beide Male die Gleichungen aus § 26.

Wenn also $V^2 = 4gBX/(a - (1 - n^{-2})X)$ ist ¹⁾, folgt daraus durch Differenzieren nach X :

$$V(dV/dX) = 2agB/(a - (1 - n^{-2})X)^2.$$

Wird dieser Ausdruck in die Gleichung für den Druck eingesetzt, dann findet man für p :

$$p = (aB/(a - (1 - n^{-2})X)^2)(Xn^{-2} - zn^{-1}).$$

Dieser Ausdruck kann nunmehr weiter vereinfacht werden, indem $1/n = \lambda$ gesetzt wird. Damit ist $b = \lambda c$, und die Zahl λ kann immer als größer als 1 angenommen werden. So erhalten wir:

$$V^2 = 4gBX/(a + (\lambda^2 - 1)X)$$

und damit

$$p = (aB/(a + (\lambda^2 - 1)X)^2)(\lambda^2 X - \lambda z).$$

Und weil dann am unbestimmten Ort Z die Geschwindigkeit $v = \lambda V$ sein muß, folgt:

$$v^2 = \lambda^2 V^2 = 4\lambda^2 gBX/(a + (\lambda^2 - 1)X).$$

§ 29. Wenn wir die Herleitung aller dieser Formeln aufmerksam verfolgen, dann kommen wir zu dem Schluß, daß wir schon das meiste zum Erfolg beigetragen haben, so z.B. die Eliminierung des Zeitelementes dt , für das wir dX/V eingesetzt haben, und danach haben wir natürlich auch die Geschwindigkeit v eliminiert. Und so hat die ganze Mühe dazu geführt, daß die Kolbengeschwindigkeit V durch die Variable X definiert werden konnte. Der Druck p aber erscheint als eine Funktion der beiden Variablen X und z . Im übrigen soll betont werden, daß allein aus der letzten Gleichung nicht nur die Geschwindigkeit V , sondern auch der Druck p bestimmt werden kann, weil sie zu der Art von Funktionen

1) Diese Beziehung wurde in § 27 abgeleitet.

gehört, die zwei Variable enthalten. Daraus erhellt, daß auch die Erforschung der Bewegung durch elastische Rohre auf ähnliche Weise vorgenommen werden muß.

§ 30. Wollten wir aber dieses Unternehmen auf ähnliche Weise durchführen, so geraten wir in nahezu unentwirrbare Rechnungen, da die Integration der beiden Hauptformeln nicht so leicht erfolgreich sein würde. Allerdings bietet sich uns hier ein nicht wenig verwunderliches Paradoxon, das im folgenden besteht: Im Falle des starren Rohres haben wir die beiden Gleichungen

$$1) \quad v_s = bV \quad \text{und}$$

$$2) \quad 2gp = 2gP + 0,5 V^2 (1 - b^2 s^{-2}) - V(dV/dX)(Z + a - X) ,$$

die die gesamte Lösung enthalten, aus den ursprünglichen Beziehungen durch Integration abgeleitet. Es ist aber auch möglich, dieselben Gleichungen auf einem anderen Wege, nämlich durch Differentiation, zu erhalten. Die Analyse dieses Weges soll uns jedenfalls der Mühe wert sein, da er auch bei elastischen Rohren zu glücklichem Gelingen hinzugezogen werden könnte.

Eine andere Methode, die Bewegung durch starre Rohre zu bestimmen

§ 31. Alle Bezeichnungen gelten wie bisher ¹⁾. Wir nehmen an, daß ein unbekannter Teil der Flüssigkeit im Raum zwischen XP und ZV enthalten ist. Dessen Volumen ist dann $b(a - X) + \int s dz$, wobei natürlich das Integral $\int s dz$ vom Rand $z = 0$ an genommen wird. Nun wird dieser Teil der Flüssigkeit im Verlauf des Zeitelementes dt in die Stellung $xpzv$ voranbewegt, wobei die Zwischenräume $Xx = dX$ und $Zz = dz$ entstehen. Diese Zwischenräume werden mit der

1) Siehe auch "Fig. 277", S. 76!

Geschwindigkeit V bzw. v von der Flüssigkeit passiert, wobei $dx : dz = V : v$ und daher $dz = vdx/V$ sein wird. Da die Masse dieses Flüssigkeitsanteils gleich bleiben muß, ist das Differential des Ausdrucks $b(a - X) + \int s dz$, in dem sowohl X als auch z als variabel angenommen werden müssen, gleich Null. Die Größe s und daher auch $\int s dz$ selbst sind Funktionen allein von z . Weiterhin schreiben wir anstelle von dz nun vdx/V . Die Differentiation der Gleichung bringt also: $-bdx + v s dx/V = 0$, wonach dann $vs - bV = 0$ bzw. $vs = bV$ folgt.

§ 32. Für die andere aufzustellende Gleichung wollen wir die lebendige Kraft ¹⁾ des gleichen Anteils der Flüssigkeit in $XPZV$ betrachten. Man findet sie, wenn man seine einzelnen Elemente jeweils mit dem Quadrat der Geschwindigkeit multipliziert, mit der sie bewegt werden, wodurch diese lebendige Kraft gleich $b(a - X)v^2 + \int v^2 s dz$ wird. Anstelle von v wird die oben gefundene Beziehung eingesetzt. So erhalten wir:

$$b(a - X)v^2 + b^2 \int (v^2/s) dz.$$

Da V nicht von z abhängig ist, kann dieser Ausdruck auch so wiedergegeben werden:

$$b(a - X)v^2 + b^2 v^2 \int dz/s.$$

Wenn jetzt der Flüssigkeitsanteil von $XPZV$ wiederum nach $xpzv$ bewegt worden ist, sodaß wie zuvor $dz = vdx/V$ bzw. $dz = bdx/s$ gilt, wird ein Zuwachs an lebendiger Kraft entstanden sein:

$$2bv dV(a - X + \int b dz/s) + bV^2(-dX + (b^2 dx/s^2)) =$$

$$2bv dV(a - X + Z) + bV^2 dX(-1 + (b^2/s^2)).$$

1) "vis viva"; gemeint ist damit im wesentlichen (für eine Flüssigkeit der Dichte = 1) die kinetische Energie. Weitere Erläuterungen siehe auch Fußnote zu § 34 sowie S. 35!

§ 33. Der Kürze halber wird dieser Zuwachs an lebendiger Kraft mit WdX bezeichnet. Damit ist:

$$W = (2bVdV/dX) (a - X + Z) - bV^2(1 - (b^2/s^2)).$$

Die andere Gleichung aber, die wir durch Integration gefunden haben, wird so geschrieben:

$$2gP - 2gp = V(dV/dX) (a - X + Z) - 0,5 V^2(a - (b^2/s^2)).$$

Führen wir in diese Gleichung für den Zuwachs an lebendiger Kraft den Ausdruck WdX ein, so nimmt sie folgende Form an:

$$2g(P - p) = W/2b.$$

Damit wird die Änderung der lebendigen Kraft zu

$$WdX = 4gb(P - p)dX.$$

Dies stimmt ausgezeichnet mit den Prinzipien der Bewegungsmechanik zur Erzeugung der lebendigen Kraft überein, wenn P die Kraft ¹⁾ ist, die die Flüssigkeit vorantreibt, und p die Kraft ¹⁾, die sie zurücktreibt, bezeichnet.

§ 34. Um dies klarer vor Augen zu stellen, verfolgen wir die Bewegung der Masse M , welche von der treibenden Kraft Π immer in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit V fortbewegt wird. Aus dem ersten Prinzip der Bewegungsmechanik ²⁾ ergibt sich dann zunächst $MdV = 2g\Pi dt$. Wenn der in der Zeiteinheit durchschrittene kleine Abschnitt = dX gesetzt wird, sodaß $dt = dX/V$ ist, dann wird

-
- 1) Druck (P ist der Kolbendruck, p der Druck der Flüssigkeit, die Differenz dieser beiden Drucke als "potentielle Energie" verursacht die Bewegung der Flüssigkeit und damit "kinetische Energie")
 - 2) Offensichtlich sind diese Prinzipien (siehe auch Paragraph 33) in den Paragraphen 1 bis 15 formuliert worden. Sie betreffen sicherlich Masse- und Energieerhaltungssatz.

diese Gleichung zu

$$MVdV = 2g\pi dX \quad \text{oder} \quad 2MVdV = 4g\pi dX.$$

Darin ist $2MVdV$ offenbar der Zuwachs an lebendiger Kraft MV^2 ¹⁾, der also stets gleich dem Wert $4g\pi dX$ ist. In unserem Falle aber haben wir zwei Kräfte, die gleichzeitig wirken. Die eine ist $= bP$, sie ist entlang dem Abschnitt dX vorwärts-gerichtet. Durch sie wird die lebendige Kraft $4gbPdX$ erzeugt. Die andere entgegengesetzt wirkende Kraft ²⁾ ist $= ps$. Sie wirkt im Intervall dz und erzeugt die lebendige Kraft $4gspdz$ bzw. wegen der Beziehung $dz = bdX/s$ wird sie $4gbpdX$ werden. Sie muß von der ersteren subtrahiert werden, und übrig bleibt der wahre Zuwachs an lebendiger Kraft $4gbdX(P - p)$, der dem Wert WdX gleich sein muß. Und gerade das haben wir oben schon gefunden. Wir haben jetzt also dieselbe Beziehung, die wir zuvor durch Integration gefunden haben, durch Differentiation abgeleitet. Auf diese Weise sollte es auch gelingen, für den Fall des elastischen Rohres eine Lösung zu finden.

Aufstellen der Formeln für die Bewegung der Flüssigkeit durch elastische Rohre

§ 35. Wir gehen auf dieselbe Weise vor wie oben, müssen aber einen einzigen Unterschied beachten. Dieser liegt darin, daß jetzt die Weite s des Rohres eine Funktion der beiden veränderlichen Größen X und z ist. Das Differential der Weite s ist somit:

$$ds = dX(ds/dX) + dz(ds/dz).$$

Zunächst wird nun die Menge der Flüssigkeit, die im unbestimmten Abschnitt $XPZV$ enthalten ist, betrachtet. Sie ist wie zuvor $= b(a - X) + \int sdz$. Der Volumenzuwachs

$$-bdX + sdz + dX \int dz(ds/dX)$$

1) Bis auf den Faktor 0,5 mit der kinetischen Energie $0,5 mv^2$ übereinstimmend; siehe auch Fußnote 1) § 32!

2) Siehe Fußnote 1) § 33!

entsteht dann also aus der Änderung sowohl von X als auch von s und drückt die Differenz der Volumina der Abschnitte xpsv und XPZV aus.

§ 36. Längs XP sei die Geschwindigkeit = V, längs ZV aber = v. Während die Flüssigkeitsschicht bei ZV ¹⁾ während dt um das Intervall Xx voranbewegt wird, wird die Schicht bei ZV um das Intervall Zz = dz vorwärtsbewegt. Es sei also $dX : dz = V : v$ bzw. $dz = v dX / V$ ²⁾. Setzen wir oben anstelle von dz den Wert $v dX / V$ ein, dann entsteht, weil dieser Ausdruck gleich Null werden muß, folgende Beziehung: $-b + sv/V + \int dz(ds/dX)$. Und nach der Geschwindigkeit v umgestellt, ergibt sich diese Gleichung:

$$v = bV/s - (V/s) \int dz(ds/dX).$$

Der Kürze halber wird hier der Ausdruck $\int dz(ds/dX) = S$ gesetzt und man erhält $v = V(b - S)/s$. Daher ergibt sich für den Abschnitt Zz:

$$Zz = (b - S)dX/s.$$

§ 37. Betrachten wir nun auch die lebendige Kraft der im Raum XPZV enthaltenen Flüssigkeit. Wie vordem ³⁾ ist sie gleich $bv^2(a - X) + \int v^2 s dz$. Wenn v^2 durch die oben gefundene Beziehung ersetzt wird, geht dieser Ausdruck, da V eine Funktion allein von X ist, in diese Form über:

$$V^2(b(a - X) + \int ((b - S)^2 dz/s)).$$

Abkürzend schreiben wir $(b - S)^2/s = \phi$. Die lebendige Kraft ist also $V^2(b(a - X) + \int \phi dz)$. Für dessen Differential nach beiden Variablen muß folgender Ausdruck entstehen:

$$2VdV(b(a - X) + \int \phi dz) - bV^2 dX + V^2 \phi dz + V^2 dX \int dz(d\phi/dX).$$

1) Hier ist EULER offenbar ein Schreibfehler unterlaufen: nach Fig. 277 muß anstelle von ZV zweifellos XP stehen.

2) Siehe auch § 31!

3) Siehe auch § 32 und Fußnote!

Es wird nun

$$d\phi/dx = - (2(b - S)/s)(ds/dx) - ((b - S)^2/s^2)(ds/dx)$$

sein, wobei also, da $S = \int dz(ds/dx)$ ist,

$$dS/dx = \int dz(d^2s/dx^2) \text{ werden wird.}$$

Nachdem wir diese Ausdrücke in die obige Beziehung eingeführt und $dz = (b - S)dx/s$ gesetzt haben, erhalten wir für den Zuwachs an lebendiger Kraft:

$$\begin{aligned} 2VdV(b(a - X) + \int \phi dz) - bV^2dx + V^2((b - S)^3/s^2)dx \\ + 2V^2dx \int (dz(b - S)/s) \int dz(d^2s/dx^2) \\ - V^2dx \int (dz((b - S)^2/s^2)(ds/dx)). \end{aligned} \quad 1)$$

Oder aber, da die Funktion ϕ als bekannt betrachtet werden kann, kann jener Zuwachs kürzer so ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} 2VdV(b(a - X) + \int \phi dz) - bV^2dx + (V^2(b - S)^3/s^2)dx \\ + V^2dx \int dz(d\phi/dx). \end{aligned}$$

§ 38. Dieser Zuwachs an lebendiger Kraft aber entsteht primär durch die Wirkung der Kraft P ²⁾. Sie wirkt auf die Fläche = b ³⁾ ein, und ihre Größe ist somit = bP ²⁾. Ihre Wirkung entlang dem Abschnitt dx muß dann, wie wir oben gesehen haben, durch die Formel $4gbPdX$ beschrieben werden. Weil daraufhin dieselbe Flüssigkeitsmenge durch den Druck²⁾ p zurückgedrängt wird, der auf die Fläche = s ³⁾ wirkt und dessen Größe somit = ps ist, wird ihre Wirkung entlang dem Abschnitt $dz = (b - S)dx/s$ hier also

- 1) Der Summand in dieser Zeile muß ebenso wie der in der nächsten das Minuszeichen tragen. Es handelt sich im lateinischen Original offenbar um einen Druckfehler.
- 2) EULER unterscheidet nicht ausdrücklich zwischen "Kraft" und "Druck". Siehe auch Fußnote 1) § 33!
- 3) Siehe Fußnote 1) § 21!

$4gp(b - S)dX$ sein. Dieser Ausdruck muß von dem vorangehenden subtrahiert werden. So erhält man die dem Zuwachs an lebendiger Kraft entsprechende Formel, die dann $4gdX(b(P - p) + pS)$ lautet. Daraus resultiert die folgende Gleichung:

$$4g(b(P - p) + pS) = (2VdV/dX)(b(a - X) + \int \phi dz) - bV^2 + V^2(b - S)^3/s^2 + V^2 \int dz(d\phi/dX),$$

wobei es angebracht erscheint, in Erinnerung zu rufen, daß

$$S = \int dz(ds/dX) \text{ und } \phi = (b - S)^2/s \text{ ist.}$$

§ 39. Nachdem nun diese Gleichung gefunden ist, sei daran erinnert, daß zwischen dem Druck p und der Weite s ¹⁾ eine feste Beziehung vorgegeben ist. Oben²⁾ hatten wir die folgenden Formeln dafür angenommen: $cs/(\Sigma - s)$ oder auch $p = c \ln(\Sigma/(\Sigma - s))$, wobei Σ die maximale Weite¹⁾ ist, bis zu der das Rohr im Punkt Z ausgedehnt werden kann. So ist Σ nur eine Funktion von z , hängt also nicht von der Variablen X ab. Wenn wir nun in unsere Gleichung anstelle von p einen dieser Ausdrücke einsetzen, so enthält sie jetzt die beiden Variablen X und z . Hier sind dann erstens die Größen P und V Funktionen allein von X , zweitens bezeichnen die Buchstaben s , S und ϕ Funktionen der beiden Variablen X und z zugleich und drittens ist der Buchstabe Σ eine Funktion allein von z .

§ 40. Aus diesem Grunde enthält unsere gefundene Gleichung eine weitere, bei der Lösung des Problems zu beachtende Bedingung mehr. Es muß nämlich zunächst eine solche Beziehung zwischen V und X aus der Gleichung abgeleitet werden, die dann immer dieselbe bleibt, wie auch immer sich inzwischen z und die von z abhängenden Größen verhalten. Nachdem diese Beziehung dann bekannt ist, wird in der Gleichung V entsprechend seiner funktionalen Abhängigkeit durch

1) Siehe Fußnote 1) § 15!

2) Siehe § 17!

X ausgedrückt, und aus dieser selben Gleichung muß die Natur der Funktion s , die ja durch die beiden Variablen X und s ¹⁾ determiniert wird, ermittelt werden.

§ 41. Zur Erhebung der Relation zwischen V und X ist es aber notwendig, daß an irgend einer bestimmten Stelle des Rohres, so wie in MN , dann der Druck der Flüssigkeit als bekannt betrachtet werden kann. Es sei erlaubt anzunehmen, daß ein solcher Zustand an den Extremstellen der Arterien, wo sie entweder in Drüsen oder Venen enden, gegeben ist. Es gebe also in unserem Rohr der Abschnitt MN eben diesen Randpunkt wieder, und wir setzen den ganzen Zwischenraum $CM = f$. Hier bleibt der Druck ständig konstant $= k$, und daher wird auch die Weite an dieser Stelle konstant, und zwar $= h$ sein. Nachdem jetzt $z = f$ gesetzt ist, muß die Geschwindigkeit V dann bestimmt werden. Sie wird in die allgemeine Gleichung eingesetzt, und es ergibt sich eine neue Beziehung, aus der die Natur der Funktion s erforscht werden müßte, die natürlich eine Funktion der beiden Variablen X und z sein wird ²⁾.

§ 42. Da aber kein weiterer Weg offensteht, eine solche Lösung zu vervollständigen, und angenommen werden muß, daß diese Forschung die menschlichen Kräfte übersteigt, so denken wir, daß dieser Arbeit hier ein Ende gesetzt ist.

1) Anstelle von s - wie im lateinischen Original - muß z stehen. In der zentralen Gleichung von § 38 steht, nachdem V durch Π ausgedrückt ist, nur noch $s = s(X, z)$, da ja S und wiederum Π durch s bestimmt sind. Siehe auch § 41!

2) Von vornherein ist s eine Funktion der Zeit t und des Ortes z ; die Abhängigkeit von der Zeit wird durch die Herleitung der Gleichung aus § 38 über die Kolbengeschwindigkeit V der Pumpe durch X ausgedrückt, während die Abhängigkeit von z als Annahme ins Modell gesteckt werden muß.

Inzwischen wird es vielleicht nicht wenig hilfreich sein, zu diesem Umstand ¹⁾ anzumerken, daß bei jeder neuen Aktion des Herzens derselbe Zustand des Blutes in den Arterien wiederkehrt. Dem genügt die Bedingung, daß alle Größen, die in unsere Gleichung eingehen, bei Beendigung einer Aktion des Kolbens, wenn also dieser in der Stellung $X = h$ ²⁾ ist, wieder dieselben Werte annehmen, die sie am Anfang, als $X = 0$ war, hatten. Und so werden alle Funktionen, die hier auftreten, in der Weise gleich sein, daß genau dieselben Ausdrücke entstehen, ob nun $X = 0$ oder $X = a$ ³⁾ gesetzt wird.

§ 43. Die Bewegung des Blutes zu erforschen, offenbart uns also dieselben unüberwindlichen Schwierigkeiten, die uns hindern, alle vortrefflichen Werke des Schöpfers genauer aufzudecken. Dabei müssen wir immerzu die mit Allmacht verbundene Weisheit bewundern und verehren, da nicht einmal der höchste menschliche Verstand oder der allerfeinste Spürsinn ⁴⁾ die wahre Struktur zu begreifen oder zu erklären vermag.

1) nämlich, daß die Lösung des Problems die menschlichen Kräfte übersteigt.

2) Diese Bezeichnung ist irreführend: Offenbar ist eine Aktion des Kolbens beendet, wenn er an der Stelle DC steht, wo das Rohr ansetzt. Bereits in § 41 ist h zur Kennzeichnung einer anderen Größe verwendet worden.

3) d.h. es müssen periodische Funktionen sein.

4) An dieser Stelle steht "levissimae vibrillae". Nimmt man einen Schreibfehler an, setzt also "fibrillae" ein, ergibt sich die obige sinnvolle Aussage ("Fäserchen", "eine Faser haben für", "Gefühl", "Spürsinn").

XXXIII.

Principia pro motu sanguinis per arterias determinando.

(Exhib. 1775 Dec. 21.)

§ 15. Quoniam igitur relatio inter p et s constat, conveniet inde valorem formulae $\left(\frac{dp}{dz}\right)$ elicere, qui cum sola z variabilis hic occurrat reperietur:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \frac{e}{(E-s)^2} \left(\Sigma \left(\frac{ds}{dz}\right) - \frac{sdE}{dz} \right),$$

hic valor succinctius ita exhiberi potest:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \frac{eE^2}{(E-s)^2} \cdot \left(\frac{d(s:E)}{dz}\right).$$

Sicque posterior aequatio induet hanc formam:

$$\frac{2gcE^2}{(E-s)^2} \cdot \left(\frac{d(s:E)}{dz}\right) + v \left(\frac{dv}{dz}\right) + \left(\frac{dv}{dt}\right) = 0.$$

ita ut nunc duae tantum supersint functiones s et v , per ambas variables principales z et t determinandae

§ 16. Quo has duas aequationes magis evolamus, eas ita representemus:

$$I. \quad v \left(\frac{ds}{dz}\right) + s \left(\frac{dv}{dz}\right) + \left(\frac{ds}{dt}\right) = 0 \quad \text{et} \quad II. \quad \left(\frac{dv}{dt}\right) + v \left(\frac{dv}{dz}\right) + \frac{2gcE^2}{(E-s)^2} \left(\frac{d(s:E)}{dz}\right) = 0.$$

Jam a posteriore in s ducta auferamus priorem in v ductam et obtinebimus hanc aequationem

$$s \left(\frac{dv}{dt}\right) - vv \left(\frac{ds}{dz}\right) - v \left(\frac{ds}{dt}\right) + \frac{2gcE^2}{(E-s)^2} \left(\frac{d(s:E)}{dz}\right) = 0.$$

quam hoc posterioris uti conducat.

§ 17. Quod si loco hypothesis qua posuimus $s = \frac{E p}{c - p}$, uti velimus ista: $s = E(1 - e^{-\frac{p}{c}})$, unde prope modum eadem phaenomena produci debent, hinc prodiret

$$p = c \log \frac{E}{E - s}, \quad \text{hincque porro} \quad \left(\frac{dp}{dz}\right) = \frac{cE}{E - s} \left(\frac{d(s : E)}{dz}\right),$$

qui valor aliquanto simplicior est quam ille qui supra prodierat.

$$\frac{cE^2}{(E - s)^2} \left(\frac{d(s : E)}{dz}\right),$$

ideoque ejus loco tuto adhiberi poterit.

Evolutio casus

quo tubus rigidus statuitur.

§ 18. Quoniam nulla via patet, quomodo resolutio harum aequationum sit suscipienda, a casu jam satis cognito incipi conveniet, quo tubus per quem fluidum propellitur rigidus statuitur, ita ut ejus amplitudo ϵ perpetuo sit aequalis amplitudini maximae E , ideoque functio univae variabilis z tantum, quam ob rem pro hoc casu habebimus $\left(\frac{ds}{dt}\right) = 0$, unde binae aequationes motum determinantes erunt:

$$\text{I.} \quad \left(\frac{d \cdot v s}{dz}\right) = 0. \quad \text{II.} \quad 2g \left(\frac{dp}{dz}\right) = - \left(\frac{dv}{dt}\right) - v \left(\frac{dv}{dz}\right).$$

§ 19. Harum aequationum prima, quia in formula $\left(\frac{d \cdot v s}{dz}\right)$, sola littera z variabilis ponitur, dum tempus t manet constans, ejus integrale erit $vs = T$, denotante T functionem quampiam ipsius t , quae cum pro omnibus tubi locis debeat esse eadem, si in loco ubi embolus fluidum propellit amplitudo tubi ponatur $= b$ et celeritas qua embolus agit $= V$ manifestum est, si punctum indefinitum Z in hunc locum transferatur, tum amplitudinem s abire in b celeritatem vero v in V , ubi V a solo tempore t pendebit, sicque functio illa T erit $= bV$, ita ut prima aequatio integrata nobis praebet $sv = bV$, ideoque $v = \frac{bV}{s}$; in singulis scilicet tubi locis Z celeritas fluidi erit reciproce proportionalis amplitudini tubi s , prorsus uti theoria motus fluidorum per tubos postulat.

§ 20. Cum igitur ex prima aequatione nacti simus $v = \frac{bV}{s}$, ubi V est functio solius temporis t , s vero functio solius quantitatis z ; substituamus hunc valorem in altera aequatione atque ob-

$$\left(\frac{dv}{dt}\right) = \frac{b}{s} \cdot \frac{dV}{dt} \quad \text{et} \quad \left(\frac{dv}{dz}\right) = -bV \cdot \frac{ds}{s^2 dz},$$

ea hanc inducet formam.

$$2g \left(\frac{dp}{dz}\right) = - \frac{b}{s} \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{bbVVds}{s^3 dz},$$

ex qua pressionem p definiri oportet, ejus differentiale dp , quia ad solam variabilem z refertur, tempus t in hac aequatione pro constanti habeatur, hincque etiam quantitates a solo tempore pendentes, quae sunt V et $\frac{dV}{dt}$, unde facta multiplicatione per dz , aequatio ista ita se habebit

$$2gdp = - \frac{bV}{s} \cdot \frac{d \cdot s}{dt} dz + \frac{bbVVds}{s^3 dz} dz,$$

quae ergo integrata dabit

$$2gp = - \frac{bdV}{dt} \int_a^{dz} - \frac{1}{2} bbVV \cdot \frac{1}{ss} + T,$$

ubi T talem functionem temporis designat, quae indoli quaestionis conveniet, ad quam determinandam transferamus punctum Z in locum ubi embolus nunc agit, et quia hic est $s=b$, sumatur etiam integrale $\int_a^{dz}$ ita ut in hoc loco evanescat; tum autem pressio p aequalis fieri debet pressioni qua embolus agit in fluidum, quae ergo vis si ponatur $=P$, tota aequatio pro loco emboli erit $2gP = - \frac{1}{2}VV + T$, unde colligitur functio illa $T = 2gP + \frac{1}{2}VV$, quo ergo valore substituto, nostra altera aequatio erit

$$2gp = - \frac{bdV}{dt} \int_a^{dz} - \frac{1}{2} bbVV \cdot \frac{1}{ss} + 2gP + \frac{1}{2}VV,$$

sive

$$2gp = 2gP + \frac{1}{2}VV \left(1 - \frac{bb}{ss} \right) - \frac{bdV}{dt} \int_a^{dz}.$$

§ 21. (Fig. 277.) Referat nunc figura $ABCD$ antliam quae initio fuerit fluido repleta, dum tubus annexus $CDMX$ totus fuerat vacuum, amplitudo vero antliae ubique statuatur $=b$. Dehinc vero elapso tempore $=t$, actione emboli fluidum jam sit protrusum eo usque ut nunc spatium occupet $XP MX$, ita ut massa fluidi, quae in initio occupaverat spatium $ABPX$, impleat tubum $CDMX$. Ponamus igitur spatium $AX=X$, ut spatium $ABPX$ sit bX . Nunc vero embolus qui agit in sectione PX exercent pressionem altitudinis P debitam, ita ut tota ejus vis aequetur ponderi massae fluidi cujus volumen $=bP$. Hoc enim modo denotabit littera P ipsam pressionem, quam fluidum in XP sustinet, uti jam ante assumimus. Cum igitur V denotet celeritatem fluidi in PX , qua tempusculo dt promovetur per spatium dX , erit $dX=Vdt$ ideoque $X=\int Vdt$. Evidens autem est has quantitates V , P et X spectari debere tanquam functiones solius temporis t . His positis, volumen $CDMX$, quod nunc fluidum in tubo occupat fore $=bX=b/\int Vdt$, sumendo scilicet integrale $\int Vdt$, ita ut evanescat posito $t=0$. Statuatur porro tota antliae longitudo $AC=a$, cui cum ubique eadem tribuatur amplitudo b , erit tota massa fluidi, in quam embolus agit $=ab$, ubi notetur, b esse quantitatem duarum dimensionum.

§ 22. Quo nunc facilius aequationem inventam ad istum statum accommodemus, initium tubi antliae annexi statuamus in CD et vocemus intervallum $CZ=z$, tum vero in Z sit amplitudo $ZV=s$ et pressio $=p$, existente celeritate uti jam invenimus $v=\frac{bV}{s}$. Sit nunc Z valor integralis $\int_a^{bdz}$, evanescens posito $z=0$. Ante autem hoc integrale ita sumimus ut evanescat translato puncto Z in X , unde patet fore:

$$\int_a^{bdz} = Z+a-X = Z+a-\int Vdt.$$

Statuatur igitur iste valor loco $\int_a^{bdz}$ et nostra aequatio erit:

$$2gp = 2gP + \frac{1}{2}VV \left(1 - \frac{bb}{ss} \right) - \frac{dV}{dt} (Z+a-\int Vdt).$$

quae aequatio ut ad totam fluidi massam in tubo contentam accommodetur, punctum indefinitum Z a puncto C usque ad M promoveri debet, ita ut volumen $CDMX$ quod est $\int s dz$ sumto $z=CM$ aequale evadat volumini $bX=b/\int Vdt$, ex qua aequatione totum hoc intervallum CM investigari oportet, quod igitur in genere praestari nequit, nisi amplitudinis s relatio ad z fuerit cognita

§ 23. Sit igitur intervallum $GM = \omega$, amplitudo in hoc loco $MV = \sigma$ et pressio $= \pi$; tum vero valor integralis $\int_a^b dz = Z$, posito $z = \omega$, abeat in Ω , sicque pro casu quem tractamus integrale $\int dz$, a $z = 0$ usque ad $z = \omega$ sumtum, fieri debet $= ab$. Interim tamen iste posteriores denominationes etiam locum habere possunt, quando fluidum jam initio tubum impleverit et in orificio MN effluat, quo casu quantitates ω , σ et Ω erunt constantes. Hic autem eas tanquam functiones temporis t spectabimus; pressio autem π in hoc loco sive fluidum hic terminetur sive effluat, semper tanquam cognita spectari potest atque haec ipsa circumstantia inservit motui fluidi determinando, dum alias quaestio esset indeterminata.

§ 24. Quo igitur motum fluidi penitus determinemus, promoveamus punctum indefinitum Z usque in M ponendo $z = \omega$, $Z = \Omega$, $s = \sigma$ et $p = \pi$, atque hinc nanciscemur hanc aequationem

$$2g\pi = 2gP + \frac{1}{2}VV\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right) - \frac{dV}{dt}(\Omega + \sigma - \int Vdt),$$

ubi jam omnes quantitates sunt functiones solius temporis t , inter quas sola celeritas V tanquam incognita est spectanda cujus ergo valorem per reliquas definiiri oportet, id quod vix praestari posse videtur ob formulam integram $\int Vdt$. Hanc ob rem necesse est, ut hanc aequationem in aliam formam transfundamus, quae facilius tractari queat, id quod commodissime obtinebitur, si loco temporis t ipsum intervallum $AX = X$ introducamus, quando quidem etiam X est functio solius temporis t ; tum autem, ob $\int Vdt = X$ erit $dt = \frac{dX}{V}$. Hinc igitur sequentem nanciscemur aequationem:

$$2g\pi = 2gP + \frac{1}{2}VV\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right) - \frac{VdV}{dX}(\Omega + \sigma - X),$$

quae si ponamus $VV = 2y$, accipit istam formam:

$$2g\pi = 2gP + y\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right) - \frac{dy}{dX}(\Omega + \sigma - X),$$

cujus resolutio nulla amplius laborat difficultate, quam ob rem nunc celeritatem V , tanquam functionem cognitam quantitatis X spectare poterimus.

§ 25. Resoluta autem hac postrima aequatione, facile iterum tempus t in calculum introduci poterit, et quoniam nunc celeritas V pro functione cognita temporis haberi potest, in singulis tubi locis satia commodè pressio fluidi assignari poterit. Cum enim ex postrima aequatione sit:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{2g(P - \pi) + \frac{1}{2}VV\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right)}{\Omega + \sigma - X};$$

qui valor in aequatione pro pressione p substitutus, suppeditabit sequentem formam:

$$2gP = 2gP + \frac{1}{2}VV\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right) - \frac{2g(P - \pi) + \frac{1}{2}VV\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right)}{\Omega + \sigma - X}(Z + \sigma - X)$$

vel calculus evadet concinnior sequenti modo. Cum habeamus has duas aequationes

$$2gP = 2gP + \frac{1}{2}VV\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right) - \frac{dV}{dt}(Z + \sigma - X),$$

$$2g\pi = 2gP + \frac{1}{2}VV\left(1 - \frac{bb}{\sigma\sigma}\right) - \frac{dV}{dt}(\Omega + \sigma - X),$$

differentia harum aequationum nobis praebet

$$2g(p - \pi) = \frac{1}{2} \frac{dV}{dz} \left(\frac{1}{\sigma\sigma} - \frac{1}{\sigma\sigma} \right) - \frac{dV}{dt} (Z - \Omega),$$

ex qua jam facile ad quodvis tempus pro quovis tubi loco Z pressio fluidi p definiri potest, sique omnia quae ad motum spectant hac ratione innotescunt.

Applicatio

ad tubum ubique aequaliter amplum.

§ 26. Sit amplitudo tubi CM ubique eadem $= c$, ita ut sit $z = c$, ideoque $f dz = cz$, unde facto $z = c$, fiet $c\omega = bX$ ergo $\omega = \frac{bX}{c}$; ac posito $c = nb$, erit $\omega = \frac{X}{n}$. Tum vero erit etiam $\sigma = c = nb$ porro autem habebitur

$$Z = \int \frac{b dz}{c} = \frac{z}{n}, \text{ hincque } \Omega = \frac{\omega}{n} = \frac{X}{nn}.$$

Quoniam vero in loco M ubi fluidum terminatur pressio est nulla, erit $\pi = 0$, unde aequatio nostra ad hunc locum translata erit:

$$0 = 2gP + \frac{1}{2} VV \left(1 - \frac{1}{nn} \right) - \frac{VdV}{dX} \left(a + \frac{X}{nn} - X \right).$$

Deinde vero pro loco quovis indefinito Z aequatio prodit ista:

$$2gp = 2gP + \frac{1}{2} VV \left(1 - \frac{1}{nn} \right) - \frac{VdV}{dX} \left(a + \frac{z}{n} - X \right).$$

§ 27. Harum aequationum prior ad terminum M accommodata, quae ad solam variabilem V refertur multiplicetur per $2dX$ ut habebitur:

$$0 = 4gPdX + VV \left(1 - \frac{1}{nn} \right) dX - 2VdV \left(a + \frac{X}{nn} - X \right),$$

cujus integrale manifeste est:

$$C = 4g/PdX + aVV + VV \left(1 - \frac{1}{nn} \right) X,$$

unde colligimus:

$$VV = \frac{C - 4g/PdX}{\left(1 - \frac{1}{nn} \right) X + a},$$

quare si via emboli P sumatur constans $= B$, et initio motus uti erat $X = 0$, fuerit etiam celeritas $V = 0$, ab $f/PdX = BX$ erit constans $C = 0$, hincque fiet:

$$VV = \frac{4gBX}{a - \left(1 - \frac{1}{nn} \right) X},$$

unde cum embolus per totam antliam seu spatium $AC = a$ fuerit promotus, ita ut fiat $X = a$, tum erit $VV = 4gB$, tum autem erit $CM = \frac{a}{n}$, ista autem celeritate fluidum deinceps per tubum uniformiter progressum: tum nova emboli actio cum fluido affluente succedat

Principia pro motu sanguinis per arterias determinando.

819

§ 28 Durante actione emboli cujus vim constantem assumimus, pressio p in quovis tubi loco Z ea posteriori aequatione § 26 facile determinari poterit. Si enim ab ea praecedens auferatur, relinquetur ista aequatio:

$$2gP = \frac{VdV}{dX} \left(\frac{X}{nn} - \frac{z}{n} \right).$$

tum igitur sit:

$$VV = \frac{4gBX}{a - \left(1 - \frac{1}{nn}\right) X},$$

erit differentiando:

$$\frac{VdV}{dX} = \frac{2gB}{\left(a - \left(1 - \frac{1}{nn}\right) X\right)^2},$$

hoc ergo valore substituto reperietur pressio.

$$p = \frac{aB}{\left(a - \left(1 - \frac{1}{nn}\right) X\right)^2} \left(\frac{X}{nn} - \frac{z}{n} \right).$$

Hae igitur expressiones simpliciores reddentur, ponendo $\frac{1}{n} = \lambda$ ut sit $b = \lambda c$, ubi numerus λ semper unitate major considerari potest, tum enim habebimus:

$$VV = \frac{4gBX}{a + (\lambda\lambda - 1) X} \quad \text{et} \quad p = \frac{aB}{[a + (\lambda\lambda - 1) X]^2} (\lambda\lambda X - \lambda z).$$

tum igitur sit celeritas in loco indefinito Z scilicet $v = \lambda V$, unde fiet.

$$vv = \lambda\lambda VV = \frac{4\lambda\lambda gBX}{a + (\lambda\lambda - 1) X}.$$

§ 29 Quod si jam processum omnium harum operationum attentius perpendamus, reperiemus ad successum plurimum contulisse, expulsionem elementi temporis dt cujus loco scripsimus $\frac{dX}{V}$, postquam scilicet celeritatem v ex calculo eliminavimus, ita ut totum negotium eo sit perductum, ut celeritas emboli V per variabilem X definiri debuerit. Tum vero pressio p evasit functio binarum variabilium X et z . Ceterum hic omni attentione dignum reperitur, quod ex unica aequatione posteriore non solum celeritas V sed etiam pressio p definiri potuerit, id quod indoli functionum duas variables involventium est tribuendum. Ex quo intelligitur, etiam investigationem motus per tubos elasticos simili modo suscipi debere.

§ 30 Quod si autem hanc tractationem simili modo suscipere vellemus, in calculos fere inextricabiles incidemus; neque enim integratio binarum formularum principalium tam facile esset successura. Verum hic paradoxon non parum mirandum se offert, in eo consistens quod, dum pro casu tuborum rigidorum binas aequationes totam solutionem continentes scilicet: $V^2 z = bV$ et

$$2gP - 2gP - 4 \left(\frac{V}{V} \right) \left(1 - \frac{b}{a} \right) = \frac{VdV}{dX} (Z + a - X)$$

per integrationem ex principalibus eliciamus, easdem aliam viam ingrediendo per differentiationem obtinere liceat, quam analysis utique opera pretium erit hic accuratius evolvere, quippe quae deinceps etiam ad tubos elasticos felici successu adhiberi poterit.

Alia methodus*motum per tubos rigidos determinandi.*

§ 31. Manentibus omnibus denominationibus ut hactenus, consideretur portio fluidi indefinita in spatio XP et ZV contenta, cujus volumen erit $b(a-X)+\int xdz$, dum scilicet integrale $\int xdz$ a termino $z=0$ capitur. Jam ista portio promoveatur elemento temporis in situm xpx' , existente spatiolo $Xx=dX$ et $Zz=dz$, quae spatiola cum celeritatibus V et v percurrantur, erit $dX:dz=V:v$ ideoque $dz=\frac{vdX}{V}$; quam ob rem cum massa huius portionis eadem manere debeat, differentiale formulae $b(a-X)+\int xdz$, sumendo tam X quam z variabile, nihilo aequari debet, si modo loco dz scribatur $\frac{vdX}{V}$, quoniam igitur s est functio solius z ideoque etiam ipsa formula $\int xdz$, haec differentiatio dabit $-bdX+\frac{vdX}{V}=0$ ideoque $vs=bV=0$ sive $vs=bV$.

§ 32. Pro altera aequatione eruenda consideremus vim vivam ejusdem fluidi portionis $XPZV$, quae reperitur dum singula ejus elementa per quadratum celeritatis qua moventur multiplicetur, unde ista vis viva erit $=b(a-X)VV+\int vvdz$, quae loco v posito valore modo invento abibit in hanc

$$b(a-X)VV+bb\int\frac{Vdz}{V},$$

quae expressio, quia V non a z pendet, ita representari potest:

$$b(a-X)VV+bbVV\int\frac{dz}{V}.$$

Quod si jam ista massa in statum sequentem promoveatur, ita ut sit ut ante $dz=\frac{vdX}{V}$ sive $dz=\frac{b dX}{V}$, incrementum vis vivae interea ortum erit:

$$2bVdV\left(a-X+\int\frac{b dz}{V}\right)+bVV\left(-dX+\frac{bb dX}{V}\right)=2bVdV(a-X+Z)+bVVdX\left(-1+\frac{bb}{V}\right).$$

§ 33. Statuatur hoc incrementum vis vivae brevitate gratia WdX ut sit:

$$W=\frac{2bVdV}{dX}(a-X+Z)-bVV\left(1-\frac{bb}{V}\right),$$

altera vero aequatio quam supra per integrationem sumus nacti ita representetur:

$$2gP-2gp=\frac{VdV}{dX}(a-X+Z)-\frac{1}{2}VV\left(1-\frac{bb}{V}\right),$$

quae aequatio introducendo incrementum vis vivae WdX induet hanc formam $2g(P-p)=\frac{W}{2b}$, ita ut sit ipsam incrementum vis vivae $WdX=\frac{1}{2}gb(P-p)dX$, id quod egregie convenit cum principiis motus ad generationem vis vivae applicatis, cum P exhibeat vim fluidum propellentem, et p vim retro pellentem.

§ 34. Quod quo clarius ob oculos ponatur, consideremus in genere massam M celeritate motam V , et a vi motrice Π in eadem directione sollicitatam, ac primum principium motus praebet $MdV=2g\Pi dt$, unde si spatiolum percursum ponatur $=dX$ ut sit $dt=\frac{dX}{V}$, haec aequatio fiet $MVdV=2g\Pi dX$ sive $2MVdV=4g\Pi dX$, ubi $2MVdV$ manifesto est incrementum vis vivae MVV , quod ergo semper aequatur formulae $4g\Pi dX$. Nostro

autem casu, duas habemus vires alteram propellentem, quae est $= bP$, quae revera per spatium dX promovetur, unde ab ea vis viva generatur $= \int bP dX$, ab altera autem vi contraria, quae est $= p$ et per spatium dz movetur, oritur vis viva $\int p dz$, quae ob $dz = \frac{bdX}{v}$ erit $\int \frac{p}{v} dX$, qui effectus ab illo subtractus relinquit verum incrementum vis vivae $\int bPdX (P - p)$, quod ergo utique aequale esse debet ipsi PdX , prorsus uti supra invenimus. Sicque nunc eandem aequationem quam supra per integrationem eliciimus, nunc per differentiationem sumus consecuti. Hoc igitur modo etiam casum pro tubis elasticis evolveri conveniet.

Investigatio formularum

pro motu fluidi per tubos elasticos.

§ 35. Hic igitur ratiocinium eodem prorsus modo instituitur ut ante, hoc sole discrimine observato quod amplitudo a hic sit functio ambarum variabilium X et z , ita ut ejus differentiale sit:

$$da = dX \left(\frac{da}{dX} \right) + dz \left(\frac{da}{dz} \right);$$

primo igitur consideretur quantitas fluidi in spatio indefinito $XPZV$ contenti, quae ut ante est $b(a - X) + \int p dz$, cujus ergo incrementum ex variabilitate utriusque X et z ortum est $- b dX + p dz + dX \int \frac{da}{dX} dz$, quod igitur exprimit excessum voluminis in spatio $xpzu$ contenti supra volumen $XPZV$.

§ 36. Cum igitur celeritas in XP sit $= V$, in ZV vero $= v$, dum stratum ZV per spatium Xx progreditur alterum stratum ZV per tantum spatium $Zz = dz$ proferetur, ut sit $dX : dz = V : v$, ideoque $dz = \frac{v dX}{V}$, quare si in superiori expressione loco dz scribamus istum valorem $\frac{v dX}{V}$, ea nihilo aequalis fieri debet, unde oritur haec aequatio $- b + \frac{pv}{V} + \int \frac{da}{dX} dz$, ex qua aequatione colligitur celeritas v , quae ergo erit:

$$\frac{bV}{v} = \frac{V}{v} \int \frac{da}{dX} dz.$$

Ponatur hic brevitatis gratia formula $\int \frac{da}{dX} dz = S$, ut habeatur $v = \frac{V(b - S)}{b}$, hincque fiet spatium

$$Zz = \frac{(b - S) dX}{v}.$$

§ 37. Contemplemur nunc quoque vim vivam fluidi in spatio $XPZV$ contenti, quae ut ante erit $bVV(a - X) + \int v p dz$, quae loco vv valore substituto quoniam V tantum est functio ipsius X , transit in hanc formam

$$VV \left(b(a - X) + \int \frac{(b - S)^2}{v} dz \right);$$

scribamus brevitatis gratia $\frac{(b - S)^2}{v} = \Phi$ ut ista vis viva sit $VV(b(a - X) + \int \Phi dz)$, cujus differentiale ex utraque variabilitate oriundum erit:

$$2VdV(b(a - X) + \int \Phi dz) = bVVdX + VV\Phi dz + VVdX \int \frac{d\Phi}{dX} dz,$$

erit autem:

$$\left(\frac{dV}{dX} \right) = - \frac{2(b - S)}{v} \left(\frac{dS}{dX} \right) - \frac{(b - S)^2}{v^2} \left(\frac{dv}{dX} \right),$$

ubi cum sit:

$$S = \int dz \left(\frac{ds}{dX} \right) \quad \text{erit} \quad \frac{dS}{dX} = \int dz \left(\frac{dds}{dX^2} \right).$$

His igitur valoribus substitutis erit incrementum vis vivae ponendo $dz = \frac{(b-S)}{s} dX$:

$$\begin{aligned} 2VdV(b(a-X) + \int \Phi dz) - bVVdX + \frac{VV(b-S)^2}{s} dX \\ + 2VVdX/dz \frac{(b-S)}{s} \int dz \left(\frac{ds}{dX} \right) - VVdX/dz \frac{(b-S)^2}{s} \left(\frac{ds}{dX} \right). \end{aligned}$$

Vel quoniam functio Φ ut cognita spectari potest, istud incrementum succinctius ita exprimi potest

$$2VdV(b(a-X) + \int \Phi dz) - bVVdX + \frac{VV(b-S)^2}{s} dX + VVdX/dz \left(\frac{dP}{dX} \right).$$

§ 38. Hoc autem incrementum vis vivae oritur primo ab actione vis P , quae cum in basin $= b$ agat, ejus quantitas erit $= bP$ et per spatium dX agit unde ejus actio uti supra vidimus aestimari debet formula $\int bPdX$. Deinde quia eadem fluidi massa retro urgetur, pressione p , in basin $= s$ agente, ejus quantitas erit $p s$ et quoniam per spatium $dz = \frac{(b-S)}{s} dX$ agit, ejus actio erit $\int p s \frac{(b-S)}{s} dX = \int p(b-S) dX$. Hanc igitur expressionem a praecedente subtrahi oportet, ut obtineatur formula incremento vis vivae aequalis, quae ergo erit $\int p dX (bP - p) + pS$, unde aequatio sequens resultat:

$$\int p(b(P-p) + pS) = \frac{2VV}{dX} (b(a-X) + \int \Phi dz) - bVV + \frac{VV(b-S)^2}{s} + VV/dz \left(\frac{dP}{dX} \right),$$

ubi meminisse oportet esse

$$S = \int dz \left(\frac{ds}{dX} \right) \quad \text{et} \quad \Phi = \frac{(b-S)}{s}.$$

§ 39. Inventa autem hac aequatione recordandum est, certam dari relationem, inter pressionem p et amplitudinem s , pro qua supra assumimus hanc formulam $\frac{es}{E-s}$ vel etiam $p = c \log \frac{E}{E-s}$, ubi E denotat maximam amplitudinem ad quam tubus in Z expandi potest, ita ut E sit tantum functio ipsius z a variabili X neutiquam pendens. Quod si ergo in nostra aequatione loco p talem valorem scribamus, nostra aequatio ita binas variables X et z involvet, ut primo quantitates P et V sint functiones solius X , litterae autem s , S et Φ denotent functiones utriusque variabilis X et z simul, sola vero littera E sit functio ipsius z tantum.

§ 40. Hanc igitur ob causam aequatio nostra inventa plus una determinatione involvit. Primo enim ex ea deduci debet talis relatio inter V et X quae perpetuo maneat eadem, quomodoecumque altera variabilis z et quantitates inde pendentes interea varientur. Deinde vero ista relatio stabilita et loco V suo valore per X substituito, ex hac eadem aequatione elici debet natura functionis s , prouti ea per utramque variabilem X et z determinatur.

§ 41. Ad relationem autem inter V et X eliciendam necesse est, ut in certo tubi loco veluti ad MX pressio fluidi tanquam cognita spectari possit qualem statum in extremitate arteriarum, ubi vel in glandulas vel in venas desinunt, concipere licet. Referat igitur in nostro tubo sectio MX istum terminum ac ponamus totum intervallum $CM = f$, ubi pressio perpetuo maneat constans $= k$, hinc ergo etiam erit amplitudo in isto loco constans, quae sit $= h$. Num igitur posito $z = f$, fiet $s = h$ et $p = k$, ex hocque casu quo in nostra aequatione tantum functiones ipsius X incertum determinari debebit celeritas V , qui in generali aequatione substitutus

Principia pro motu sanguinis per arterias determinando.

823

novam praebebit aequationem, ex qua naturam functionis z scrutari conveniet, qualis scilicet futura sit functio amborum variabilium X et z

§ 52. Cum autem nulla prorsus via pateat talem resolutionem perficiendi, haecque investigatio vires humanas transcendere sit censenda, hic utique isti labori finem imponere cogimur. Interim tamen fortasse non parum juvabit ad eam circumstantiam attendere, quod quavis nova cordis actione status sanguinis per omnes arterias idem recurrit, cui conditioni satisfiet, quando finita actione nostri emboli, hoc est posito $X = h$ omnes quantitates nostram aequationem ingredientes eodem prorsus valores iterum recuperant, quos habebant initio, ubi erat $X = 0$, sique omnes functiones quae hic occurrunt ita oportebit esse comparatas, ut sive ponatur $X = 0$ sive $X = a$, eodem plane valores nanciscantur.

§ 53. In motu igitur sanguinis explicando easdem offendimus insuperabiles difficultates, quae nos impediunt omnia plane opera Creatoris accuratius perscrutari; ubi perpetuo multo magis summam sapientiam cum omnipotentia conjunctam admirari ac venerari debemus, cum ne summum quidem ingenium humanum vel levissimae vibrillae veram structuram percipere atque explicare valeat.



4. Weitere Arbeiten Leonhard EULERS mit physiologischem Inhalt

4.1. EULERS Wirken auf dem Gebiet der physiologischen Optik

Es kann angenommen werden, daß sich Leonhard EULER mit keinem Organ des menschlichen oder tierischen Organismus so intensiv beschäftigt hat wie mit dem Auge. Ein Grund dafür liegt auf der Hand: Mit 28 Jahren erblindete er auf dem rechten Auge, eine erneute Krankheit raubte ihm mit 59 Jahren für die restlichen 17 Jahre seines Lebens, das ihm ansonsten eine sehr robuste Gesundheit geschenkt hatte, das Augenlicht vollends. Es kann nur erahnt werden, wie sehr dieses Schicksal den großen EULER zur theoretischen Durchdringung der Gesetzmäßigkeiten dieses Organs herausgefordert haben mag.

"Wir werden in dem Bau des Auges eine Vollkommenheit gewahr werden, die der geschickteste Künstler nie zu erreichen im Stande gewesen wäre..." (s. Kap. 4.1.4. Brief 41): Das ist der zweite Grund, der seine Beschäftigung mit dem Auge bedingt hatte - die wissenschaftliche Herausforderung. Indem EULER im Auge den vollkommensten optischen Apparat sah, wurde es ihm zum "Lehrmeister" bei seiner sich durch alle Schaffensperioden ziehenden Forschungsarbeit auf dem Gebiet der physikalischen Optik.

Auf der Grundlage des Überlieferten und der eigenen Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet hat Leonhard EULER vier seiner 'Lettres à une princesse d'Allemagne' (O III 11, 94 - 101) unter Anwendung des zu seiner Zeit herrschenden Wissens um die physiologische Optik der Erklärung des Sehvorganges gewidmet. Um diese Abhandlungen EULERS in den geschichtlichen Zusammenhang stellen zu können, sei ihre Erörterung und Wertung ein historischer Abriß der Entwicklung der physiologischen Optik vorangestellt.

4.1.1. Die Entwicklung der physiologischen Optik bis zur zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts

Wo liegen die Quellen für die Kenntnisse Leonhard EULERS von der Anatomie des Auges und der Physiologie des Sehvorganges? Die größeren Strukturelemente des Auges wurden schon in Altertum und Mittelalter beschrieben, die Physiologie jedoch kam über das Spekulative kaum hinaus:

DIOGENES VON APOLLONIA, ein Vertreter der hippokratischen Schule, erklärte den Sehvorgang mit einer Spiegelung des Gegenstandes im Auge. Das Gehirn stehe mit dem Auge durch einen Gang in Verbindung. Vorn im Auge befinde sich eine durchsichtige Haut, von der das Licht reflektiert würde bzw. auf der sich die Dinge spiegelten. Die Wahrnehmung erfolge im Gehirn (ROTHSCHUH 1953, 8).

Nach ARISTOTELES (384 - 322 v.u.Z.) entstehe das Sehen nicht durch eine Ausströmung der Objekte, sondern durch den Anstoß einer Bewegung, die auf das passive Sehen wirke. Die farbigen Nachbilder wurden schon beschrieben (SIEVERT 1948).

HEROPHILOS (um 335 - um 280 v.u.Z.), ein Vertreter der Schule von Alexandria, beschrieb erstmalig den Glaskörper (ROTHSCHUH 1953, 10).

Die abendländische Medizin wurde bis zum Ende des Mittelalters, also für etwa 1000 Jahre, dann von der Physiologie von GALENOS VON PERGAMON (129 - 201 u.Z.) beherrscht (ROTHSCHUH, 1953, 13 und 17). Er beschäftigte sich recht intensiv mit der Anatomie des Auges, mit seinen 6 Muskeln, dem Septum orbitale und dem Tränenapparat (ROSCHINSKY 1948; MEYER-STEINEG 1911). Das Hauptorgan des Sehens war für ihn die "kristallene Feuchtigkeit", die Linse. Dahinter lägen Glaskörper und Netzhaut, die zur Ernährung des Glaskörpers diene und Veränderungen der Linse wahrzunehmen hätte. Er wußte, daß sich die Sklera in die Cornea fortsetzt und letztere dann das Licht zur Linse hindurchläßt. Er beschrieb die Sehnerven, die im Chiasma opticum kommunizieren, wodurch er sich wiederum die konsensuelle Pupillenreaktion

erklärte. Fehlsichtigkeiten seien eine Folge von Veränderungen des Pneumas; die Brechungsverhältnisse im Auge erfuhren durch ihn noch keine Darstellung.

Immer noch, wie auch bei den Arabern, deren wichtigster Physiologe IBN AL'HAITIM oder ALHAZEN (gest. 1038) war, fanden sich im Mittelalter "die drei Sehtheorien des Altertums, nämlich erstens, daß vom Auge ausgehende Strahlen den Gegenstand erreichen (PYTHAGORAS), zweitens, daß sich eine vom Auge kommende und eine vom Gegenstand ausgehende Bewegung treffen (PLATO) und drittens, daß eine Bewegung vom Gegenstand ausgehend das Auge trifft (ARISTOTELES)" (HIRSCHBERG und LIPPERT 1908). blieb auch die Linse weiterhin der Ort des Sehens, so lieferten doch gerade die arabischen Ärzte einige wesentliche Beiträge, in denen sie erheblich über die Vorstellungen der Antike und auch GALENS hinausgingen: Die Kenntnisse von der physikalischen Optik seit EUKLID wurden durch ALHAZEN in seiner Schrift 'Opticae thesaurus Alhazeni' erweitert (WIEDEMANN 1910), SALAH AD DIN stellte in seiner arabischen Handschrift um das Jahr 1296 erstmals eine Theorie des Sehvorganges geometrisch dar und brachte darin weitere Beweise für die Kegelform des Strahlenbündels beim Sehen (HUMMEL 1948). Während GALEN nur die konsensuelle Pupillenreaktion beschrieb, erwähnten die arabischen Ärzte erstmals den Zusammenhang zwischen Pupillenverengung und Belichtung.

"Die Vorstellungen über den Strahlengang bei der Brechung, die Reflexion an Spiegeln, über die Wirkung konvexer und konkaver Gläser und planparalleler Platten waren beträchtlich weitergekommen" - dieses Verdienst schreibt ROTHSCUH (1953, 41) neben den arabischen Ärzten einigen Gelehrten der Hochscholastik wie VITELLO (1230 - etwa 1270), Roger BACON (1214 - 1294) und dem Abt MAUROLICUS (1494 - 1575) zu. Die Bedeutung der Scholastiker für die Physiologie sei zwar durch das Fehlen nennenswerter Entdeckungen gering, aber immerhin kam es durch die lateinischen Übersetzungen der antiken und arabischen Schriften zur Verbreitung ihres Gedankengutes im Abendland. Diese Linie führte dann auch zu dem Begründer der auf exakt naturwissenschaftlichem

Boden stehenden physiologischen Optik, zu Johannes KEPLER (1571 - 1630): VITELLO gab in seinem Buch 'Perspectiva' (um 1270) ALHAZENS Lehre vom Sehen wieder (ROTHSCHUH 1953, 25), und mit diesem Buch sowie mit den Vorstellungen anderer Gelehrter wie GIAMBATTISTA DELLA PORTA (1538 - 1615), die etwa auf demselben geistigen Boden (Antike und Araber) standen, setzte sich KEPLER auseinander. Seine beiden optischen Werke 'Paralipomena in Vitellionem seu Astronomia pars optica' (1604; PLEHN 1908) und 'Dioptrice' (1610) stellten den Übergang von einer in spekulativer Deutung von Einzelbefunden stehenden zur naturwissenschaftlich begründeten Physiologie des Sehens dar. KEPLER erklärte die Netzhaut zum eigentlichen Organ des Sehens, zu dem Teil des Auges also, auf dem das Bündel der einfallenden Lichtstrahlen co-incidiert. In Abschnitt 4 der 'Paralipomena...' (ROHR 1930) legte er exakt nieder, daß auf der Netzhaut ein umgekehrtes Bild aufgebaut werde und das Bild solange unscharf bliebe, wie die Strahlen nicht in den Punkten, aus denen sich das Bild zusammensetzte, zur Vereinigung kämen. Die Linse - in der antiken und mittelalterlichen Medizin als Ort des Sehens angesehen - bekam ihren Platz als eines der Brechungsmedien des Auges zugewiesen. Hier fand sich auch die Grundlage für die Korrektur von Fehlsichtigkeiten durch Brillengläser. Weiterhin beschrieb KEPLER die Pupillenverengung bei Akkommodation (Konvergenzreaktion) und berichtigte die alten Angaben über die Größe des Gesichtswinkels (ROTHSCHUH 1953, 42).

Das Wissen um den Bau und die Funktion des Auges wurde in der Folgezeit bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts, die Zeit also, in die die 'Lettres à une princesse d'Allemagne' - der seit 1768 veröffentlichte Unterrichtsstoff, den Leonhard EULER der Prinzessin Sophie Friederike Charlotte Leopoldine Louise²⁷⁾ von Brandenburg-Schwedt 1759 bis 1761 geboten hatte - fielen, nur noch um wenige, wenn auch wichtige Punkte erweitert:

Die Erforschung der Anatomie des Auges konnte z.B. durch Antony VAN LEEUWENHOEK oder Joh. Gottfried ZINN (1727 - 1759) vor allem im mikroskopischen Bereich fortgesetzt werden.

Dieser entdeckte die Faserstruktur der Linse, die bisher als "humor cristallinus" aufgefaßt wurde, jener beschrieb erstmals den Ziliarkörper. Als dritter sei Frederik RUYSCH (1638 - 1731) genannt, der die Kenntnisse vom Auge um die Arteria centralis retinae erweiterte (ROTHSCHUH 1953, 67).

Eine Bestätigung und experimentelle Untermauerung der KEPLERSchen physiologischen Optik brachte Christoph SCHEINER (1575 - 1650). In seiner Schrift 'Oculus' (1619) gab er nicht nur den die unterschiedlichen Brechungsverhältnisse im Auge bei Einstellung auf Fern- und Nahsehen beweisenden SCHEINERSchen Versuch und den seitlichen Abgang des Sehnerven an, sondern veröffentlichte auch das Experiment, bei dem er am enucleierten Tier- oder Menschaugen die scharfe Abbildung der Gegenstände auf der Netzhaut beobachten konnte. Diesen Versuch gab dann bemerkenswerterweise auch Leonhard EULER im 41. Brief der 'Lettres...' wieder (s.S. 105).

4.1.2. EULERS Erklärung des Sehvorganges in den 'Lettres à une princesse d'Allemagne'

Im einzelnen sollen folgende Elemente aus EULERS Abhandlungen über den Bau und die Funktion des Auges ('Lettres' 41 bis 44) einer kritischen Beleuchtung unterzogen werden: Sie betreffen seine Vorstellungen zur Anatomie, zur Physiologie (Brechung, Aberration, Reflexe, Akkomodation und Wahrnehmung) und zur Pathologie des Auges.

"Ich werde mich hier nicht mit der anatomischen Beschreibung des Auges aufhalten; zu meiner Absicht wird es genug sein zu bemerken...", diese Worte ließ EULER nicht streng gelten, sondern widmete doch den ganzen 41. Brief der Anatomie des Auges. Allerdings ging es ihm wohl im wesentlichen nur darum, die Voraussetzungen für das Verständnis der in den kommenden Briefen enthaltenen Erörterungen seiner physiologischen Optik zu schaffen. So verzichtete er auf eine Beschreibung der Muskeln des Auges, des Ziliarkörpers (von dessen Beschreibung durch J.C. ZINN 1755 er möglicherweise im Jahre 1759 noch keine Kenntnis hatte)

und der Anhangsgebilde. Auf mikroskopische Strukturen ging er nur andeutungsweise ein: "Die Markhaut, womit der Grund unseres Auges überzogen ist, besteht aus einem Gewebe der feinsten Nervenfasern..." (s.S. 106). Die Stäbchenschicht der Netzhaut, die schon VAN LEEUWENHOEK gesehen hatte (ROTHSCHUH 1953, 67), erwähnte EULER nicht.

Die in den 'Briefen' benutzte anatomische Nomenklatur entspricht im wesentlichen der heutigen. Die nähere Benennung der drei Feuchtigkeiten: wässerigte, kristalline und gläserne hatte für EULER die Bedeutung, daß er schon durch die Bezeichnung die unterschiedlichen Medien deutlich machen konnte, die für ihn die physikalische Voraussetzung zur Korrektur der chromatischen Aberration darstellen. Allerdings verwandte er den Begriff "krystalline Feuchtigkeit" (humor cristallinus) mit Recht nicht mehr, da schon VAN LEEUWENHOEK die Faserstruktur der Linse gesehen hatte, und sprach von der "Krystallinse".

Schließlich erscheint es mir noch bemerkenswert, daß EULER entwicklungsgeschichtlich richtig den Sehnerven als vom Gehirn kommend und in das Auge eintretend beschrieb.

In der Physiologie allgemein, und hier am Beispiel des Auges besonders verdeutlicht, war Leonhard EULER alles solange klar und verständlich, wie es mit der Logik seiner Mathematik und Physik zu durchdringen war. Komplexe biologische Funktionssysteme ahnte er zwar und erkannte sie als über seine vereinfachenden Modellvorstellungen aus dem Bereich der bis dahin erforschten Physik hinausgehend, sah sie aber als Geheimnisse des Schöpfers und Beweise der Allmacht Gottes an, "die jenseits der Grenze menschlicher Erkenntnis" (41. Brief, s.S. 106) lägen und weitere Versuche, sie zu ergründen, sinnlos machten.

Zu den Grundlagen der Physiologie des Auges gehört die Physik der Brechung von Lichtstrahlen. Das Gesetz der Strahlenbrechung war unabhängig voneinander von DESCARTES (1559 - 1650) und SNELLIUS (1591 - 1626) entdeckt worden. Seitdem war die physikalische Optik auch durch wesentliche

Beiträge von Leonhard EULER enorm vorangetrieben worden²⁸⁾: Das Problem der Brechung von Lichtstrahlen im Spezialfall des Auges nahm in EULERS 'Lettres' einen großen Raum ein: Klar beschrieb er die vier Brechungsmedien "Hornhaut", "wässerigste Feuchtigkeit" (Kammerwasser), "Krystalline" und "gläserne Feuchtigkeit" (Glaskörper) sowie den Grund dafür, warum eine einzelne Linse nicht ebenso gut ausreichen würde, die ins Auge einfallenden Lichtstrahlen so zu brechen, daß die punktförmige Abbildung der Gegenstandspunkte auf der Netzhaut gewährleistet wäre. Die Notwendigkeit für das kombinierte Linsensystem gab EULER mit der Korrektur der sphärischen und chromatischen Aberration an. Diese Erkenntnis hatte umgekehrt seine Studien zur Herstellung achromatischer Linsensysteme vor allem für Mikroskope und Fernrohre angeregt²⁹⁾, allerdings hatte sich seine technische Variante (Wasser zwischen zwei Linsen) gegenüber den aus verschiedenen Glassorten geschliffenen Linsenkombinationen von DOLLOND (s.S. 9) nicht behaupten können.

Der Sinn der Brechung der Lichtstrahlen im Auge liegt nach den Ausführungen EULERS also darin, daß die Strahlen so gebrochen werden, daß ihr Vereinigungspunkt auf einen Punkt der Netzhaut fällt. Dieser prinzipiellen Gesetzmäßigkeit sind andere Mechanismen unterstützend zugeordnet, wie z.B. die Pupillenreaktion. EULER erkannte die Wichtigkeit des "Abblendmechanismus" für die Schonung des Augenhintergrundes und widmete den 42. Brief der 'Lettres' ganz diesem Problem, genauer gesagt einer der Pupillenreaktionen: Von den drei Reaktionen "Lichtreflex", "Konvergenz- oder Naeinstellungsreaktion" und "sensible, sensorische und Psychoreaktion", wie die Einteilung heute lautet (BEHR und BEST 1949, 627), kam bei EULER nur der Lichtreflex zur Darstellung, obwohl, wie oben erwähnt (s.S. 90), andere Reaktionen der Pupille schon beschrieben wurden. Möglicherweise erkannte er andere Reaktionen der Iris nicht; wahrscheinlicher ist aber, daß für ihn nur dem Lichtreflex genügend, wenn auch mehr teleologische Logik innewohnte, um denselben näher zu erörtern. Dennoch ist es nicht nur der Zweck der Verengung und Erweiterung der Pupille, den EULER hier angab, aus dem Satz: "Denn wenn wir an einem sehr hellen Ort sind,

wo die Lichtstrahlen eine sehr große Stärke haben, so ist eine geringe Anzahl derselben notwendig, die Nerven der Markhaut zu erschüttern, und daher zieht sich alsdann der Stern zusammen..." (s.S. 107) geht hervor, daß er auch schon eine gewisse Vorstellung vom Mechanismus des Lichtreflexes entwickelt hatte, ja man kann sogar sagen, ohne daß dem Text des EULERSchen Briefes Gewalt angetan werden soll, daß hier das beschrieben wurde, was heute ein einfacher "Regelkreis" genannt wird. Den Begriff "Reflex" brachte EULER noch nicht, erkannte jedoch das Unwillkürliche der Verengung oder Erweiterung der Pupille auf ein Plus oder ein Minus an Licht hin. Daß dieser Prozeß mit einer gewissen Verzögerung vor sich geht, brachte er klar zum Ausdruck. Die Ursache dafür sah er in der langsamen Öffnung bzw. im allmählichen Zusammenziehen der Pupille, für die Kenntnis der heute als "Helladaptation" und "Dunkeladaptation" bekannten Chemismen der Stäbchenschicht - Ausbleichung und Regeneration des Sehpurpurs (HEINE und COMBERG 1949, 136) - fehlten zu EULERS Zeiten natürlich noch die Voraussetzungen.

Schließlich sei noch EULERS Vergleich zwischen den Fähigkeiten des menschlichen und tierischen Auges, sich der Helligkeit und der Dunkelheit anzupassen erwähnt: Im Gegensatz zum menschlichen Auge könnten z.B. die Adleraugen durch eine besonders enge Pupille gerade in die Sonne blicken. Das andere Extrem stellen die Katzenaugen oder die Augen von Eulen dar, die "...bei einer ziemlichen Finsternis noch sehen können" (s. S. 107) bzw. "...nur einen mittelmäßigen Grad von Helligkeit ertragen können..." (s.S. 108).

Der Vorgang der Akkomodation war, nach den Ausführungen EULERS zu urteilen, noch ungeklärt. Er wußte zwar, daß sich das Auge anpassen kann und der Normalsichtige sowohl Gegenstände in der Ferne wie in der Nähe deutlich sieht, der Mechanismus dazu bestand aber für ihn darin, daß "...alle den Augapfel ein wenig zusammenziehen oder erweitern und dadurch die Markhaut näher bringen oder entfernen..." können (s.S. 116). Veränderungen der Linse wurden nicht erwähnt. Offenbar stand EULER noch auf dem Boden der Erkenntnisse von BOERHAAVE (1668 - 1738, 'Institutiones medicae' seit

1708) und von HALLER ((1708 - 1777), 'Elementa physiologiae corporis humani' 1756 - 1766), die derartige Veränderungen des gesamten Auges zum Zwecke der Akkomodation annahmen. Den gültigen Mechanismus der Akkomodation zu klären, blieb HELMHOLTZ (1821 - 1894) vorbehalten (ROTHSCHUH 1953, 71 und 79).

Nach Leonhard EULER "... dürfen wir nicht erwarten, daß ihn (den Vorgang der Wahrnehmung optischer Reize - Anm.d. Verfassers) je einer ergründen werde, weil dazu erfordert wird, daß man nicht nur die Wirkungsart der Vorstellungskraft, sondern auch ihre Natur und ihr Wesen erkenne..." (s. S. 106). Die Philosophen hätten darüber sehr viel geträumt und gedichtet, die Sache läge jedoch jenseits der Grenze menschlicher Erkenntnis. Dennoch hatte EULER die richtige Vermutung, daß sich "... vermittelt dieses Sehnervs die Einwirkung der Lichtstrahlen auf die Markhaut bis zum Gehirn ..." fortpflanze (s.S. 106). Stellt man die Gedankenverbindung zu seinen Ausführungen im 146. Brief (s. Kap. 4.2.4.) her, wo es um das Elektrisieren eines Menschen geht, könnte man sogar zu dem Schluß kommen, daß EULER schon den elektrischen Charakter der Nervenleitung erahnt hat, zumal er auch im Bereich der theoretischen Physik durch seine Äthertheorie eine Verbindung zwischen Elektrizität und Licht geschaffen hatte.

Auch die Pathologie des Auges blieb in den zur Diskussion stehenden Briefen EULERS nicht ganz unbeachtet. Im 42. Brief (s.S. 108) erwähnte er einen Menschen mit offenbar traumatischem Kolobom: "Man erzählt von einem Menschen, dessen Stern durch einen Stoß ins Auge auf eine ungewöhnliche Weise erweitert worden war, daß er in der größten Dunkelheit habe lesen und die kleinsten Dinge erkennen können." Diese pathologische Erscheinung zog er zum Beweis für die Richtigkeit seiner Angaben zur Physiologie der Pupille heran.

Im 44. Brief (s.S. 115) ging er auf die beiden Refraktionsanomalien Myopie und Presbyopie als weitere pathologische Erscheinung des Auges ein und beschrieb den vor bzw. hinter

der Netzhaut liegenden Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen, der in beiden Fällen ein undeutliches Sehen zur Folge hätte. Den Astigmatismus erwähnte er nicht. Auf eine mögliche Korrektur der Refraktionsanomalien kam EULER in den Briefen 41 bis 44 nicht zu sprechen, ging dafür aber im Zusammenhang mit seinen umfassenderen Ausführungen über die Dioptrik in den Briefen 198 - 199 (O III 12, 174 - 178) kurz darauf ein und beschrieb die Korrektur des myopen Auges durch Konkav- und des prebyopen Auges durch Konvexgläser.

Daß auch Erkrankungen des Sehnerven bei sonst intaktem Auge zu Blindheit führen kann, war EULER bekannt. Er erwähnte diese Tatsache nicht nur kurz im 41. Brief (s. S. 106), sondern ausführlicher auch im 81. Brief (O III 11, 183), der sich mit dem Zusammenhang zwischen Körper und Seele befaßt. Die Nerven stellen hierbei ein körperliches Instrument der Seele dar.

4.1.3. Die Bedeutung der Briefe EULERS zur physiologischen Optik

Nach SCHIPPERGES (1971) hat "... die Geschichte der Wissenschaft bisher viel zu viel untersucht, was und wie etwas entdeckt und wie und warum dies behindert wurde, statt die historische Integrität in ihrem eigenen Zeitalter aufzusuchen..." So möchte ich in dem Versuch einer Exploration der Bedeutung der vier 'Lettres à une princesse d'Allemagne', die sich mit der Anatomie und der Physiologie des Auges beschäftigen, nicht nur mit der Elle des Mediziners des 20. Jahrhunderts messen und einschätzen, sondern auch aus der Sicht der Zeitgenossen und im Hinblick auf die Auswirkungen auf die nachfolgenden Generationen beleuchten.

SPEISER gibt in seiner Einleitung zum Abdruck der 'Lettres' in EULERS Opera omnia (O III 11, XI) eine Bemerkung von GOETHE wieder, die - zusammen mit einem Zitat von SCHOPENHAUER (1788 - 1860), das eine Einschätzung der EULERSchen wissenschaftlichen Leistung, die sich besonders in den 'Lettres' spiegelt, aus der Generation nach EULER darstellt, - einen Eindruck von der Bewertung durch die Zeit-

genossen gewährt und von dem von EULER mitgeschaffenen fruchtbaren Boden zeugt, auf dem "ein neuer wissenschaftlicher Geist in Deutschland" wachsen konnte (O III 11, XI).

So äußerte GOETHE: "EULER, einer von jenen Männern, welche wieder von vorne anfangen, auch wenn sie in eine noch so reiche Ernte ihrer Vorgänger geraten" (Zit. nach SPEISER in O III 11, XI), wobei er sich auf EULERS Darstellung der Farbenlehre in den Briefen 133 bis 135 bezog³⁰⁾.

Bei SCHOPENHAUER (Ohne Jahr, 168 und 169), der, wie das folgende Zitat zeigt, offenbar keinen Grund sah, sich ihm aufzwingende Kritik an den Gelehrten seiner Zeit zurückzuhalten, ist die Würdigung der 'Lettres' umso beachtlicher: "... Dieses eigenthümliche Genügen an Worten trägt mehr als irgend etwas bei zur Perpetuierung der Irrthümer. Denn gestützt auf die von seinen Vorgängern überkommenen Worte und Phrasen geht Jeder getrost an Dunkelheiten, oder Problemen vorbei: wodurch diese sich unbeachtet, Jahrhunderte hindurch, von Buch zu Buch fortpflanzen und der denkende Kopf, zumal in der Jugend, in Zweifel gerät, ob etwa nur er unfähig sei, Das zu verstehen, oder ob hier wirklich nichts Verständliches vorliege; desgleichen, ob für die Andern das Problem, um welches sie mit so komischer Ernsthaftigkeit alle denselben Fußpfad herumschleichen, keines sei, oder ob sie es nur nicht sehen wollen. Viele Wahrheiten bleiben bloß deshalb unentdeckt, weil Keiner Muth hat, das Problem ins Auge zu fassen und darauf los zu gehen. - Im Gegentheil hiervon bewirkt die den eminenten Köpfen eigenthümliche Deutlichkeit des Denkens und Klarheit der Begriffe, daß sogar bekannte Wahrheiten, von ihnen vorgebracht, neues Licht, oder wenigstens neuen Reiz gewinnen: hört oder liest man sie; so ist es als hätte man ein schlechtes Fernrohr gegen ein gutes vertauscht. Man lese z.B. nur in EULERS Briefen an eine Prinzessin seine Darstellung der Grundwahrheiten der Mechanik und Optik. Hierauf beruht DIDEROTS, im Neveu de Rameau beigebrachte Bemerkung, daß nur die vollendetsten Meister fähig sind, die Elemente einer Wissenschaft eigentlich gut vorzutragen; eben weil nur sie die Sachen wirklich verstehen und niemals ihnen Worte die

Stelle der Gedanken vertreten...".

Die hier angesprochenen physikalischen Abhandlungen in den 'Lettres' galten noch bis ins erste Drittel des 19. Jahrhunderts hinein als geeignetes Lehrmaterial für höhere Schulen, erst der sich durch den technischen Fortschritt schnell entwickelnde Erkenntnisstand der Naturwissenschaften ließ den von EULER auf diesem Gebiet in den 'Briefen an eine deutsche Prinzessin' gebotenen Stoff in den Hintergrund rücken.

Obwohl nicht nur Gegner (z.B. Chr. WOLFF), sondern auch Freunde (z.B. D. BERNOULLI) Leonhard EULER in Sachen Philosophie für nicht kompetent hielten (WINTER 1957, 47), haben gerade seine philosophischen Briefe ihre Spuren in der Philosophengeneration des ausklingenden 18. und beginnenden 19. Jahrhunderts hinterlassen: dafür sollen die Namen FICHTE (1762 - 1814) und KANT (1724 - 1804) stehen (s.S. 35). Überdies beweisen Neuausgaben einer philosophischen Auswahl von EULERS Briefen, daß das Interesse an dieser Lektüre auch heute noch über das rein historische hinausgeht (EULER 1964; HOPPE 1904).

Für die Bedeutung der 'Lettres' im Zeitalter der Aufklärung, aber auch noch in der Romantik spricht allein die Tatsache, daß sie bis zum Jahre 1766 nicht weniger als 12 französische und bis 1753 6 deutsche Auflagen erfuhren, von russischen, dänischen, holländischen, englischen, schwedischen und spanischen Übersetzungen ganz zu schweigen. Das zeugt von dem großen Bedarf an einer derartigen Lektüre, denn auch damals konnte kein Verleger am Markt vorbeiproduzieren.

Eine Beachtung der in den 'Briefen an eine deutsche Prinzessin' enthaltenen Erkenntnisse EULERS auf dem Gebiet der physiologischen Optik konnte ich der durchgearbeiteten Literatur nicht entnehmen. Die Einleitung SPEISERS zu ihrem Abdruck in den EULERSchen Opera omnia (O III 11) erwähnt lediglich, daß die Briefe 41 bis 44 die Konstruktion des Auges beschreiben. Sicherlich gewannen die 'Lettres' wesentlich mehr an Bedeutung durch die Abhandlung philoso-

phischen Sachgebiets - der Untertitel lautet schließlich auch 'sur divers sujets de Physique & de Philosophie' - als die am Gesamtwerk gemessene kleine Anzahl von Problemstellungen aus der Physiologie. Dennoch ergeben sich nach meiner Ansicht bei Abtasten des Stoffes nach physiologischen Inhalten Gesichtspunkte, die den Stellenwert, den EULER möglicherweise selbst diesem Teil seines Schaffens beimaß, höher erscheinen lassen, als auf den ersten Blick zu erkennen ist:

Betrachtet man nämlich die Themen - Licht, Farben, Dioptrik und Bau und Funktion des menschlichen Auges -, die EULER nacheinander in den Briefen 17 bis 44 abhandelte, nicht in sich geschlossen und aneinandergereiht, sondern logisch verkettet und aufeinander aufbauend, dann erhält man eine geschlossene Darstellung der physiologischen Optik mit ihren physikalischen und anatomischen Prämissen. Drei Punkte, die diese Ansicht stützen sollen, möchte ich aufführen:

1. Die Dioptrik ist in Teil I der Briefe relativ kurz, dagegen im Teil III noch einmal sehr ausführlich behandelt. Während im ersten Teil nur die physikalischen Grundsätze wie Brechungs- und Reflektionsgesetz besprochen werden, die somit eine physikalische Basis zum Verständnis der Physiologie des Sehvorganges bilden, ist im dritten Teil das weite Anwendungsgebiet der Linsen, Linsensysteme und Spiegel mit seinen technischen Möglichkeiten dargestellt.
2. EULER wies mehrmals im Text der Briefe 41 bis 44 auf schon in den vorhergehenden Briefen gebotenen Stoff hin. Zwei Beispiele aus dem 43. Brief sollen das belegen:
"Die Regel, auf welche sich der Bau des Auges gründet, ist im allgemeinen dieselbe, nach welcher sich, wie ich E. H. die Ehre gehabt habe zu erklären, die Gegenstände vermittels eines erhabenen Glases auf weißem Papier abbilden..." und "...Da ich von den Strahlen der verschiedenen Farben sprach, so merkte ich an..." (s.S. 110 und 111).
3. Physikalischer und anatomischer Stoff haben das Gemeinsame, daß beide im Vorfeld zum Verständnis des physiologischen Stoffes aufgezeichnet sind. Während EULER die Darstellung der physikalischen Optik (Briefe 17 bis 40) nicht

als Prämisse zum Verständnis der Physiologie expressis verbis bezeichnete, tat er dies jedoch bei der Darstellung der Anatomie mit folgenden Worten: "Ich werde mich hier nicht mit der anatomischen Beschreibung des Auges aufhalten; zu meiner Absicht ist es genug zu bemerken..." (41. Brief; S. 104). Von der Gemeinsamkeit zwischen Physik und Anatomie in Hinsicht auf die Vorbereitung zur Beschreibung der Physiologie des Auges her halte ich es also für möglich, EULER auch bei der Aufzeichnung des physikalischen Teiles die "Absicht", es im Dienste der Erklärung des Sehvorganges getan zu haben, zu unterstellen.

EULERS Abhandlungen über die physiologische Optik in den 'Lettres' bilden nur einen kleinen Teil des gesamten die physikalische Optik betreffenden Opus, einem Lebenswerk. Mit der zweibändigen 'Dioptrica' umfaßt es 7 Bände der Serie III seiner Opera omnia. Ihr Inhalt reicht - wenn man das überhaupt so kurz sagen darf - von der theoretischen, meist analytischen Durchdringung aller damals bekannten Problemkreise der geometrischen Optik bis zu ihren praktischen Konsequenzen bei der Konstruktion von Spiegelteleskopen, Linsenfernrohren und Mikroskopen, um nur einige zu nennen. Die Einleitungen zu der eben abgeschlossenen Edition der 'Opera dioptrica' im Rahmen der 'Opera omnia' erleichtern nicht nur das Verständnis des Werkes, sie messen ihm auch detailliert seinen Stellenwert in der Optikgeschichte bei (O III 5 bis 9).

Bei der Suche nach physiologischen Arbeiten EULERS mußte es somit erstaunlich sein, daß sich in diesen 7 Bänden keine weitere, den Briefen 41 bis 44 der 'Lettres' entsprechende Arbeit findet. Zwar geht das Auge hier öfters als Teil der Einheit "optisches System - Beobachter" in die Überlegungen mit ein; dafür steht als Beispiel die Bemerkung EULERS, daß bei einem Kurzsichtigen der Farbvergrößerungsfehler beim Blick durch ein optisches Instrument kleiner sei als beim Presbyopen (O III 8, 81), es ist jedoch nirgends selbst Forschungsobjekt. Wie schon erwähnt, sah aber EULER gerade im Auge den vollkommensten optischen Apparat und meinte, man

brauche seiner Konstruktion nur nachzueifern, ihm seine Geheimnisse zu entlocken und könne danach die optischen Fehler wie Farb- und Öffnungsfehler, mit denen die technischen Konstruktionen behaftet waren, beseitigen. Wie wichtig ist es also, daß wir wenigstens aus den 'Lettres' EULERS näheres Wissen von diesem Organ kennen.

Überdies geht die Verherrlichung der Konstruktion des Auges, die EULER sogar dazu brachte, einen Gottesbeweis aus dessen Vollkommenheit herzuleiten, ausführlich und polemisch aus den vier hier zur Diskussion stehenden Briefen (besonders 43 und 44) deutlich hervor. Sie entsprechen ganz den, von D. SPIESS als "theologischen Excurs" (O III 5. XLII) bezeichneten Passagen der 'V. Reflexion' des 'Examen d'une controverse sur la loi de refraction des rayons de differentes couleurs par rapport à la diversité des milieux transparents par lesquels ils sont transmis' (O III 5, 172), die 1753 in der Kontroverse zwischen DOLLOND und EULER als Erwiderung EULERS niedergeschrieben wurde, und wiederholen die hier aufgeführten Argumente fast wörtlich.

Wer wollte nicht die allgemeine Bewunderung EULERS über das Auge teilen? Und doch führte seine - um das Wort von FELLMANN (O III 9, 303) zu benützen - "Besessenheit" von der Vollkommenheit zu einem für seinen erstrebten Erfolg bei der Herstellung eines Achromaten folgenschweren Irrtum: Das System lichtbrechender Medien im Auge beseitigt keineswegs vollkommen den chromatischen Fehler, NEWTON hatte dies schon erkannt (SPEISER in O III 5, XLI). So führte auch EULERS Idee, dem Auge in dieser Hinsicht nachzueifern und durch verschiedene lichtbrechende Medien unter der Annahme eines universellen Dispersionsgesetzes :

$$\log R : \log V = \log r : \log v$$

(wenn R und $\dot{V}$ die Brechungsindizes bei einem, r und v die Brechungsindizes beim anderen Übergang zwischen verschiedenen Medien sind)

zwar zu origineller und theoretischer Durchdringung der geometrischen Optik mit völlig neuen analytischen Ausdrücken, die auch - später zugegebenermaßen - DOLLOND weiterhalfen. Einen Achromaten konnte er, so lange er die

unterschiedlichen Dispersionskonstanten bei den verschiedenen durchsichtigen Medien (Glassorten, Öl etc.) nicht wahrhaben wollte, nicht in hinlänglicher Qualität realisieren. Diesen Irrtum sah er erst sehr spät ein, zu spät, um diese neue Erkenntnis in sein optisches Opus einbauen zu können und damit zu operieren. DOLLOND, CLAIRAUT und D'ALEMBERT waren hier erfolgreicher, wie HERZBERGER, HABICHT und FELLMANN in ausführlichen Kommentaren zum Problem der Achromasie aus der Sicht des EULERSchen Werkes und seiner Effektorik in der Wissenschaftsgeschichte in den 'Opera omnia' Serie III (Bände 8 und 9) darstellen.

So präzise nun EULER in den Briefen 41 bis 44 der 'Lettres' den "optischen Apparat Auge" und seine Funktion im wesentlichen beschrieb, so unklar waren seine Vorstellungen von der Wahrnehmung der optischen Reize. Zwar war ihm eine - wie schon bemerkt (s.S. 95) - mögliche elektrische Weiterleitung der Lichtreize von den Nervenfasern der Netzhaut über den Sehnerven zum Gehirn durchaus vorstellbar, die für ihn auch noch in dem Bereich lag, der noch einer naturwissenschaftlichen Exploration zugänglich sein mußte. Die sich im Gehirn abspielenden Vorgänge bei der Wahrnehmung verglich er jedoch mit einer Camera obscura, durch die die Seele ihre Informationen von der Umwelt erhielt. Vom motorischen Nervensystem hatte er im gleichen Sinne die Vorstellung, daß die Seele gleich einem Marionettenspieler mittels der - wieder in den Bereich des Körperlichen gehörenden - Nerven die Signale an die Erfolgsorgane weitergäbe (O III 11, 185). Hier stand er also auf dem Boden seiner dualistischen und gleichzeitig streng religiösen Weltanschauung, die ihm die Grenzen der Erkenntnis durch die menschliche Einfalt gebot. So mußten die Anfänge der Entwicklung, die auch den für EULER im Bereich des Metaphysischen liegenden Teil biologischer Systeme in exakt naturwissenschaftliche Betrachtungen mit einbezog - z.B. hatte Robert WHYTT (1714 - 1766) im Experiment durch die Zerstörung der Corpora quadrigemina beim lebenden Tier die Aufhebung des Pupillenreflexes beobachtet (ROTHSCHUH 1953, 86; HÜRZELER 1973)-, an ihm vorbeigehen.

Abschließend möchte ich noch einige Bemerkungen zum folgenden Text der Briefe 41 bis 44 der 'Lettres à une princesse d'Allemagne' anfügen: Die deutsche Übersetzung vom Jahre 1769 hat mir nicht vorgelegen. So übernahm ich zunächst kritiklos den Text der Übersetzung von KRIES aus dem Jahre 1792, der sich allerdings nicht auf das französische Original, sondern auf die Ausgabe von DE LA CROIX und Marquis DE CONDORCET stützte. Ein Vergleich mit dem Original ergab nun aber, daß KRIES zwar nicht falsch, jedoch lückenhaft übersetzte, wobei er die philosophisch-theologischen Passagen auf ein Minimum kürzte. Diese Passagen gehören aber - wie oben gezeigt wurde - zum abgerundeten Bild von der Vorstellungswelt Leonhard EULERS dazu, so daß ich sie in möglichst wörtlicher Übersetzung im folgenden Text ergänzt habe.

4.1.4. Die Briefe 41 bis 44 der 'Lettres à une princesse d'Allemagne' in der deutschen Übersetzung von KRIES und im französischen Original

EINUNDVIERZIGSTER BRIEF

Jetzt bin ich im Stande Ew.H. zu erklären auf welche Weise das Sehen¹⁾ geschieht, eine Sache, die unstreitig unserer größten Bewunderung wie der angestrengtesten Aufmerksamkeit würdig ist. Ob wir sie gleich bei weitem noch nicht vollständig kennen, so ist doch das Wenige, was wir davon wissen, mehr als hinreichend, uns von der Macht und Weisheit²⁾

1) Zusatz im Original: "in den Augen der Menschen und aller Tiere"

2) orig.: "von der Allmacht und unendlichen Weisheit"

des Schöpfers zu überzeugen¹⁾. Wir werden beim Bau des Auges eine Vollkommenheit gewahr werden, die der geschickteste Künstler nie zu erreichen im Stande gewesen wäre, und die uns mit der tiefsten Ehrfurcht gegen den Urheber eines solchen Meisterstückes erfüllen muß. Ich werde mich hier nicht mit der anatomischen Beschreibung des Auges aufhalten; zu meiner Absicht ist es genug zu bemerken, daß die vor-
derste Haut (aAB) durchsichtig ist und die Hornhaut genannt wird. Hinter dieser findet man inwendig im Auge eine andere kreisförmige und farbige Haut (am, bm), deren vordere Seite man die Regenbogenhaut oder I r i s nennt, und deren hintere Seite den besonderen Namen der T r a u b e n -
h a u t führt²⁾; in der Mitte derselben ist eine Öffnung, die der S t e r n oder die P u p i l l e heißt und schwarz zu sein scheint. Hinter dieser Öffnung sitzt ein kleiner, vollkommen durchsichtiger Körper (bBCa)³⁾, der die Gestalt eines kleinen Brennglases hat und die K r y -
s t a l l i n s e genannt wird. Die große Höhlung des Auges hinter der Krystalllinse ist mit einer zähen, aber

-
- 1) EULER geht diesem Gedanken ausführlicher nach als KRIES ihn in der Übersetzung wiedergibt; wörtlich heißt es etwa so:
"...; und diese Herrlichkeiten müssen unsere Geister zu reinster Anbetung des höchsten Wesens entzücken. Wir erkennen in der Struktur der Augen eine Vollkommenheit, die selbst ein höchst aufgeklärter Geist wird niemals ergründen können. Und der geschickteste Künstler - selbst wenn wir ihm die Fähigkeit, die Materie nach seinem Belieben zu formen und die höchste Stufe der Erkenntnis, derer ein Mensch empfänglich ist, zugestehen - wird niemals eine Maschine solcherart herstellen können, denn sie wird unendlich unter alle dem liegen, was wir in den Augen wahrnehmen."
- 2) Die sachlich zwar richtige Erwähnung der Traubenhaut ist eine Ergänzung von KRIES, EULER führt diese anatomische Struktur nicht an.
- 3) Zusatz im Original: "von membranöser Substanz"; Skizze s. S. 118.

ganz durchsichtigen Flüssigkeit angefüllt, die den Namen der g l ä s e r n e n F e u c h t i g k e i t hat; dagegen enthält die Höhlung zwischen der Hornhaut (aAb) und der Krystalllinse (bBCa) die sogenannte w ä s s e - r i g t e F e u c h t i g k e i t , die so flüssig und so hell wie das reinste Wasser ist. Hier sind also vier durchsichtige Materien, durch welche die Lichtstrahlen, die ins Auge kommen, durchgehen müssen: 1) die Hornhaut, 2) die wässerigte Feuchtigkeit zwischen A und B, 3) die Krystalllinse bBCa und 4) die gläserne Feuchtigkeit hinter der Krystalllinse. Diese vier Materien sind von verschiedener Dichtigkeit, und die Lichtstrahlen erleiden also, wenn sie aus einer in die andere übergehen, jedesmal eine besondere Brechung, und zwar in einer solchen Ordnung, daß diejenigen Strahlen, die von einem Punkt des Gegenstandes herrühren, im Hintergrund des Auges auch wieder zusammenkommen in einem Punkt und daselbst ein Bild machen. Der Grund des Auges aber in EGF ist mit einer weißlichten, sehr feinen Haut überzogen, die die N e t z h a u t , oder mit einem schicklichern Namen die M a r k - oder N e r v e n - h a u t ¹⁾ genannt wird, und auf welcher die Bilder nach denselben Regeln und ebensogut dargestellt werden können, wie ich gesagt habe, daß es vermittels eines erhabenen Glases auf einem weißen Grunde geschieht: Wenn man ein Ochsenauge nimmt, und von der hinteren Seite die äußern Teile, die die Markhaut bedecken, ablöst, so sieht man auf dieser alle Gegenstände so genau abgezeichnet, wie sie kein Maler nachahmen könnte. Und wenn wir irgendeinen Gegenstand sehen sollen, so muß sich allezeit sein Bild auf der Markhaut abmalen; und trägt es sich unglücklicherweise zu, daß einige Teile des Auges verdorben werden, oder ihre Durchsichtigkeit verlieren, so wird man blind. Aber um die Gegenstände zu sehen ist es noch nicht genug, daß ihre Bilder im Auge²⁾ abgebildet werden. Es gibt Personen, die dem ohnerachtet blind

1) Die Begriffe "Mark- oder Nervenhaut" kommen im Original nicht vor.

2) orig.: "sur la rétine"

sind, woraus man sieht, daß die im Auge¹⁾ vorgestellten Bilder nicht der unmittelbare Gegenstand des Sehens sind und daß die Wahrnehmung²⁾ noch auf eine andere Weise geschieht. Die Markhaut, womit der Grund unseres Auges überzogen ist, besteht aus einem Gewebe der feinsten Nervenfasern, die mit einem großen Nerven in Verbindung stehen, der aus dem Gehirn kommt, in O in das Auge eintritt und der Sehnerv heißt³⁾. Vielleicht pflanzt sich vermittels dieses Sehnervs die Einwirkung der Lichtstrahlen auf die Markhaut bis zum Gehirne fort; allein auf welche Art und Weise nun dadurch die Vorstellung von dem Gegenstande in uns entsteht, darüber haben zwar die Philosophen bisher sehr viel geträumt und gedichtet, aber ergründet hat es noch niemand. Auch dürfen wir nicht erwarten, daß es je einer ergründen werde, weil dazu erfordert wird, daß man nicht nur die Wirkungsart der Vorstellungskraft, sondern ihre Natur und ihr Wesen erkenne - eine Sache, die jenseits der Grenze menschlicher Erkenntnis liegt.

Den 15. Aug. 1760

1) orig.: "sur la rétine"

2) Zusatz im Original: "unserer Seele"

3) Von hier an übersetzt KRIES m.E. recht frei und lückenhaft; es sei eine enger an das Original gelehnte Übersetzung angeboten: "Durch die Lichtstrahlen, die im Grunde des Auges ein Bild formen, werden die kleinen Nerven der Retina innerlich erschüttert; und diese Erschütterung wird vermittels des Sehnervs bis hin zum Gehirn übertragen. Dort findet ohne Zweifel das statt, was die Seele als Wahrnehmung erfährt, jedoch sind auch die geschicktesten Anatomen nicht im Stande, die Nerven bis zu ihrem Ursprung zu verfolgen. Dieser wird uns immer ein Geheimnis bleiben, welches die Verbindung unserer Seele mit dem Körper in sich birgt. Auf welche Weise man sich diese Verbindung auch vorstellen mag, man ist verpflichtet zur Einsicht zu höchster Bewunderung für die Allmacht Gottes, die wir niemals ergründen werden können. Aber die starken Denker, die alles das ablehnen, was sie durch ihre beschränkten Geister nicht fassen können, müssen durch solche Überlegungen verwirrt werden."

ZWEIUNDVIERZIGSTER BRIEF

Ich schmeichle mir, daß es Ew. H. nicht unangenehm sein wird, die Wunder, die wir in dem Bau des Auges entdecken, noch sorgfältiger mit mir zu betrachten. Der Stern bietet uns gleich einen Gegenstand dar, der unsere nähere Betrachtung und unsere Bewunderung verdient. Man versteht unter dem Stern die schwarze Öffnung in der Mitte der Blendung, durch welche die Strahlen in das Innerste des Auges gelangen. Je größer diese Öffnung ist, desto mehr Strahlen können in das Auge kommen und auf der Markhaut das Bild machen, das wie gemalt darauf erscheint; dieses wird also desto glänzender sein, je weiter der Stern offen ist. Man darf nur das Auge eines Menschen eine Zeitlang betrachten, so wird man finden, daß sich die Öffnung bald größer, bald kleiner zeigt. Gemeiniglich bemerkt man, daß sie so sehr enge ist, wenn ein glänzendes Licht in das Auge fällt; und im Gegenteil wird sie weiter, wenn man sich an einem minder hellen oder dunklen Ort befindet. Diese Veränderung ist zur Vollkommenheit des Sehens sehr notwendig, denn wenn wir an einem sehr hellen Ort sind, wo die Lichtstrahlen eine sehr große Stärke haben, so ist eine geringe Anzahl derselben notwendig, die Nerven der Markhaut zu erschüttern, und daher zieht sich alsdann der Stern zusammen. Täte er dies nicht und ließe die Strahlen in größerer Menge ins Auge: so würde die Stärke die Nerven zu sehr erschüttern und uns Schmerzen verursachen. Dies ist der Grund, warum wir nicht in die Sonne sehen können, ohne geblendet zu werden und einem empfindlichen Schmerz im Grunde des Auges zu verspüren. Wenn wir im Stande wären, den Stern noch mehr zusammenzuziehen, so daß nur sehr wenige Strahlen ins Auge fielen, so würden wir ohne Schaden in die Sonne sehen können; aber die Zusammenziehung des Sterns hängt nicht von unserer Willkür ab. Die Adler haben diesen Vorzug, daß sie gerade in die Sonne blicken können; aber man hat auch beobachtet, daß sich ihr Stern alsdann so sehr zusammenzieht, daß er nur ein Punkt zu sein scheint. So wie bei einem starken Lichte eine kleine Öffnung des Sterns notwendig ist, so wird hingegen bei einem schwächeren Lichte eine größere Öffnung erfordert; daher erweitert sich der Stern umso mehr, je mehr das Licht abnimmt, und im Finstern

öffnet er sich so sehr, daß er fast den ganzen Raum der Blendung einnimmt. Blicke die Öffnung so klein wie im Hellen, so wären die schwächeren Strahlen nicht im Stande, die Nerven so zu erschüttern, als zu einer Empfindung des Sehens notwendig ist. Die Strahlen müssen daher alsdann in größerer Menge in das Auge kommen, um eine merkliche Wirkung hervorzubringen. Wenn es uns möglich wäre, den Stern noch weiter zu öffnen, so würden wir bei einer ziemlichen Finsternis noch sehen können. Man erzählt von einem Menschen, dessen Stern durch einen Stoß ins Auge auf eine ungewöhnliche Weise erweitert worden war, daß er in der größern Dunkelheit habe lesen und die kleinsten Dinge erkennen können. Die Katzen und mehrere andere Tiere, die des nachts auf die Befriedigung ihrer Bedürfnisse ausgehen, haben das Vermögen, ihren Stern viel weiter als die Menschen zu öffnen; und bei den Eulen ist der Stern immer zu weit offen, als daß sie nur einen mittelmäßigen Grad von Helligkeit ertragen können. Daß sich aber der Stern bei den Menschen erweitert oder zusammenzieht, hängt nicht von ihrem Willen ab; und der Mensch ist nicht Herr darüber, seinen Stern zu öffnen oder zu verengen, wann er will. Sobald er sich an einem sehr hellen Ort befindet, zieht sich der Stern von selbst zusammen und erweitert sich wieder, wenn er an einen dunklen Ort zurückkehrt. Diese Veränderung geschieht auch nicht in einem Augenblick, sondern nur nach und nach¹⁾. Daher werden Ew. H. schon oft bemerkt haben, daß wenn man plötzlich aus einem sehr hellen an einen dunklen Ort kommt, man anfangs gar nichts erkennen kann²⁾. Der Stern ist näm-

-
- 1) Das Original bringt eine genauere Angabe:
"sondern man muß einige Minuten warten, bis sie sich an die Umwelt angepaßt hat"
 - 2) EULER gibt in diesem Satz noch ein kleines Beispiel:
"Daher werden Ew. H. schon oft bemerkt haben, daß, wenn Sie plötzlich aus großer Helligkeit an einen dunklen Ort gelangt, wie in der Komödie von SCHUCH, Sie die Personen nicht von der Umgebung, in der sie sich befinden, unterscheiden kann."

lich noch zu enge, um eine hinlängliche Menge von Lichtstrahlen zu fassen; aber nach und nach erweitert er sich und läßt so viel Strahlen hindurch, als nötig sind, eine merkliche Empfindung hervorzubringen. Das Gegenteil geschieht, wenn man mit einem Male aus einem finsternen Ort in ein sehr helles Licht kommt. Der Stern ist alsdann zu weit offen, die Markhaut wird zu stark gereizt und man wird geblendet und muß die Augen zumachen. Es ist also ohne Zweifel ein merkwürdiger Umstand, daß sich der Stern nach den verschiedenen Bedürfnissen des Sehens erweitert und zusammenzieht, und daß dies von selbst geschieht, ohne daß unser Wille geringsten Anteil daran hat. Die Physiologen¹⁾, die sich mit der Untersuchung des Baues des menschlichen Körpers und der Verrichtungen seiner Teile beschäftigen, sind über die Ursache solcher Veränderungen sehr geteilt, und es ist wenig Anschein, daß man je die wahre Beschaffenheit der Sache finden werde.

Inzwischen ist dies nicht das einzige Wunderbare in dem Bau des Auges, und wir werden bald noch mehr Wunder darin erblicken.²⁾

17. August 1760

1) original: "les philosophes"

2) wörtlich übersetzt heißt es so:
"Inzwischen ist diese Veränderlichkeit der Pupille eine sehr nützliche Einrichtung für das Sehen, ohne dieselbe es sehr unvollkommen wäre. Aber wir werden bald noch andere Wunder entdecken."

DREIUNDVIERZIGSTER BRIEF

Die Regel, auf welche sich der Bau des Auges gründet, ist im allgemeinen dieselbe, nach welcher sich, wie ich Ew. H. die Ehre gehabt habe zu erklären, die Gegenstände vermittels eines erhabenen Glases auf einem weißen Papier abbilden. Bei beiden kommt es darauf an, daß alle Strahlen, die von einem Punkt des Gegenstandes herrühren, durch die Brechung wieder in einem Punkt vereinigt werden, und es macht wenig aus, ob die Brechnung, wie in dem einen Fall, durch ein einziges Glas oder in dem anderen durch mehrere durchsichtige Materien¹⁾ bewirkt wird. Man könnte wohl gar auf den Gedanken geraten, daß das Auge einen einfacheren Bau haben und doch dieselben Dienste leisten könnte, wenn es nur eine einzige durchsichtige Materie enthielte. Die wäre ein Einwurf gegen die Weisheit des Schöpfers, der bei allen seinen Werken die einfachsten und schicklichsten Mittel angewendet hat. Wir wollen also die Sache etwas näher betrachten, und Ew. H. werden bald sehen, wie mangelhaft dieser vermeindliche einfachere Bau des Auges sein würde und wie sehr dagegen die wirkliche Beschaffenheit desselben den Vorzug verdient²⁾.

1) Zusatz im Original: "aus denen das Auge zusammengesetzt ist"

2) Die Frage nach einem einfacheren Bau des Auges ist für EULER nicht nur hypothetisch, er kennt offenbar Vertreter dieser Meinung und geht im Originaltext polemisch auf ihre Anschauungen ein: "Es hat einige Freigeister gegeben - und es gibt sie noch zur Genüge -, die sich vermessen zu behaupten, daß wenn Gott ihre Meinung bei der Schöpfung erbeten hätte, sie ihm hätten gute Ratschläge geben können und daß so ein gut Teil der Dinge hätte vollkommener werden können. Sie stellen sich vor, sie hätten einen einfacheren und für den Bau des Auges geeigneteren Plan anbieten können. Ich werde dieses Auge der Freigeister prüfen, und bei dieser Prüfung wird Ew. H. deutlich werden, daß dieses Werk sehr lückenhaft und ganz und gar unwürdig wäre verglichen mit den Werken des Schöpfers."

Das Auge würde also nach diesem Vorschlage einem einzigen erhabenen Glase (ACBD)¹⁾ zu vergleichen sein, von dem ich gesagt habe, daß es alle Strahlen, die von einem Punkt des Gegenstandes kommen, wieder zusammen vereint. Aber das ist nur ungefähr richtig. Die kugelförmige Gestalt, die man den Oberflächen des Glases gibt, hat den Nachteil, daß diejenigen Strahlen, die durch die Mitte gehen, und die, welche weiter nach dem Rande zu auffallen, nicht ganz genau in ein und demselben Punkt vereinigt werden. Es ist immer ein kleiner Unterschied, der freilich bei den Versuchen, wo man das Bild mit einem weißen Papiere auffängt, unmerklich ist, aber wenn er im Auge stattfände, das Sehen sehr undeutlich machen würde. Vielleicht aber, sagt man, wäre es möglich, eine andere Form für die Oberfläche des Glases ausfindig zu machen, wodurch alle Strahlen, die z.B. von dem Punkte O ausgehen, wieder in den einzigen Punkt R vereinigt würden, sie möchten nun mitten auf dem Glas oder auf den Rand fallen. Ich gebe zu, daß dies möglich wäre; aber wenn das Glas auch diese Eigenschaft in Rücksicht des Punktes O hätte, der sich in der bestimmten Entfernung CO von dem Glase befindet, so würde es sie nicht mehr in Rücksicht anderer Punkte, die näher oder weiter entfernt wären, haben; und wenn auch dieses möglich sein sollte, was es aber nicht ist, so würde es sie doch gewiß für die Gegenstände, die an der Seite, wie z.B. in T liegen, nicht haben. Man sieht es ja auch bei dem oft ausgeführten Versuch, wenn man die Bilder auf ein weißes Papier fallen läßt, daß nur diejenigen recht deutlich ausgeprägt sind, deren Urbilder sich gerade vor dem Glase, wie in O, befinden; hingegen von den zur Seite, wie in T gelegenen Gegenständen, sind sie immer undeutlich und entstellt, ein Fehler, dem auch der geschickteste Künstler nicht abzuhelpen vermag.

Aber es gibt noch einen anderen Fehler, der nicht weniger beträchtlich ist. Da ich von den Strahlen der verschiedenen Farben sprach, so merkte ich an, daß sie bei dem Übergang aus einem Mittel in ein anderes auf verschiedenste Weise gebrochen würden; die roten Strahlen erlitten die kleinste,

1) s. Skizze S. 121

und die violetten die größte Brechung. Wenn also der Punkt O rot wäre und seine Strahlen sich durch die Brechung des Glases AB in den Punkt R vereinigen, so würde dies der Ort für das rote Bild sein; wäre aber das Bild violett, so würden die Strahlen näher bei dem Glase sein und z.B. in V vereinigt werden. Da nun die weiße Farbe eine Mischung von allen einfachen Farben ist: so würden, wenn man einen weißen Gegenstand in den Punkt O hinstellte, mehrere Bilder zur gleichen Zeit erzeugt worden, die innerhalb des Raumes VR enthalten wären, aber jedes in einer anderen Entfernung vom Glase; und auf die Art entstünde auf der Markhaut ein farbiger Fleck, wodurch das Sehen außerordentlich verwirret würde. Man bemerkt auch in der Tat, daß, wenn man in einem dunklen Zimmer die Bilder der äußeren Gegenstände auf ein weißes Papier fallen läßt, sie am Rande mit den Regenbogenfarben eingefäßt sind, und es ist unmöglich, diesem Fehler abzuhelpen, solange man sich nur eines einzigen durchsichtigen Körpers bedient. Inzwischen würde es sich gewiß durch die Hilfe mehrerer durchsichtiger Materien bewerkstelligen lassen; aber weder die Theorie noch die Praxis sind bis jetzt zu einem solchen Grade der Vollkommenheit gebracht, als hierzu erfordert wird.

Bei unserm Auge¹⁾ findet weder irgend einer der erwähnten Mängel statt, noch andere, denen das vermeindliche einfachere Auge²⁾ unterworfen sein würde. Welche erhabene Idee müssen wir uns also von demjenigen machen, der nicht nur die Menschen, sondern auch alle Tiere und unzählige andere Geschöpfe mit einem so weise und so vortrefflich eingerichteten Organ versehen hat³⁾.

19. August 1760

1) Zusatz im Original: "wie es der Schöpfer gemacht hat"

2) wörtlich: "das Auge der Freigeister"

3) Der letzte Satz der KRIESSchen Übersetzung faßt wiederum eine längere nicht streng naturwissenschaftliche Passage im Originaltext zusammen. Sie lautet in annähernd wörtlicher Übersetzung folgendermaßen: "Von da her versteht man den wahren Grund, warum die göttliche Weisheit mehrere durchsichtige Materien für den Bau des Auges verwendet hat:

es dient zur Befreiung von all den Mängeln, die die Werke der Menschen kennzeichnen. Welch schöner Gegenstand unserer Bewunderung! Und der Psalmist hat guten Grund, uns auf diese bedeutsame Frage hinzuweisen: Sollte der, der das Auge gemacht hat, selbst nicht sehen? und sollte der, der das Ohr gemacht hat, gar nicht hören? Nur das Auge ist ein solches Meisterwerk, daß es sogar das menschliche Verständnis übertrifft. Welch erhabene Idee müssen wir uns von demjenigen bilden, der nicht nur die Menschen hat schaffen können, sondern auch alle Tiere und selbst die niederen Insekten von solch herrlicher Gestalt, und dies alles auf der höchsten Stufe der Vollkommenheit."

VIERUNDVIERZIGSTER BRIEF

Das Auge übertrifft also alle Maschinen und Werkzeuge, die die menschliche Geschicklichkeit hervorzubringen im Stande ist, unendlich. Die verschiedenen durchsichtigen Materialien, aus welchen es besteht, haben nicht nur eine verschiedene Dichtigkeit, wodurch die Strahlen auf eine verschiedene Weise gebrochen werden, sondern ihre Gestalt ist auch so beschaffen, daß alle Strahlen, die von einem Punkt des Gegenstandes herkommen, genau wieder in einem Punkt vereinigt werden, der Gegenstand mag nun näher oder weiter, gerade vor dem Auge oder zur Seite liegen. Wollte man die geringste Veränderung in der Natur oder in der Gestalt dieser Materien machen, so würde das Auge die Vorzüge verlieren, die wir eben an ihm bewundert haben. Die Stärke unserer Augen ist unseren übrigen Bedürfnissen angemessen, und es ist töricht, sich zu beklagen, daß wir weder durch Mauern und Türen, und überhaupt durch solche Körper, die keine Lichtstrahlen durchlassen, sehen, noch Gegenstände, die allzuweit von uns entfernt sind, erkennen können.¹⁾

-
- 1) Dieser letzte Satz stellt das Fazit aus 10 Sätzen im französischen Original dar, die am Beispiel des Auges eine Polemik gegen die Atheisten beinhalten und der Vollständigkeit halber im folgenden ergänzt seien: "Inzwischen haben die Atheisten die Kühnheit zu behaupten, daß das Auge wie auch die ganze Welt nichts seien als das Werk des reinen Zufalls. Sie finden darin nichts, was ihrer Aufmerksamkeit würdig ist. Sie erkennen keinerlei Zeichen der Weisheit im Bau der Augen. Sie glauben vielmehr guten Grund zu haben, sich über die Unvollständigkeit der Augen zu beklagen: daß sie weder in der Dunkelheit noch quer durch eine Mauer sehen, noch die kleinsten Dinge in sehr entfernten Orten, wie im Mond oder in anderen Himmelskörpern unterscheiden können. Sie rufen laut, daß das Auge nicht ein nach Plan gefertigtes Werk, sondern durch Zufall gebildet worden ist, so wie ein Stück Erde, das man auf dem Lande entdeckt, und daß es absurd wäre zu sagen, daß wir die Augen nicht dazu haben, damit wir sehen können. Wir hätten also vielmehr die Glieder durch Zufall bekommen, damit sie uns nützen, soweit es ihre Beschaffenheit erlaubt. Ew. H. haben mit Empörung von solchen Meinungen gehört, die jedoch heute nur Gemeinplätze unter den Leuten sind, die sich selbst für weise halten und laut über solche spotten, welche in der Welt die vom unübertrefflich mächtigen und weisen Schöpfer vielfältig hinterlassenen Spuren finden. Es ist nutzlos, sich darüber in einen Disput mit solchen Leuten einzulassen; sie bleiben unerschüttert in ihren Meinungen behaftet und verachten die bemerkenswertesten Wahrheiten. So ist es wahr, wenn der Psalmist sagt, daß jene Narren seien, die sagen, in ihrem Herzen sei kein

Übrigens muß man noch bemerken, daß es, um die Gegenstände deutlich zu sehen, nicht genug ist, daß die Strahlen, die aus einem Punkt kommen, wieder in einem Punkt vereinigt werden; es gehört auch noch dazu, daß der Vereinigungspunkt gerade auf die Markhaut falle; denn wenn er vor oder hinter dieselbe fiele, so würde das Sehen undeutlich sein. Wenn nun die Vereinigungspunkte bei einer gewissen Entfernung der Gegenstände auf die Markhaut treffen, so werden sie bei einer größeren Entfernung vor und bei einer geringeren derselben hinter sie fallen! In beiden Fällen entsteht eine Undeutlichkeit des Bildes auf die Markhaut. Die Augen eines jeden Menschen sind also für eine gewisse Entfernung eingerichtet. Manche sehen nur solche Gegenstände deutlich, die sehr nahe vor ihren Augen liegen, diese heißen Kurzsichtige oder *Myope* und man sagt, daß sie ein kurzes Gesicht haben; andere im Gegenteil, die man Weitsichtige oder *Presbyten* nennt, sehen nur entlegene Gegenstände deutlich; diejenigen aber haben ein gutes Gesicht, die in einer mittelmäßigen Entfernung am deutlichsten sehen. Indessen können alle den Aufapfel ein wenig zusammenziehen oder erweitern und dadurch die Markhaut näher bringen oder entfernen, wodurch sie in den Stand gesetzt werden, Gegenstände, die in ihren Entfernungen nicht sehr voneinander verschieden sind, mit gleicher Deutlichkeit zu sehen. Dieser Umstand trägt nicht wenig zur Vollkommenheit unseres Auges bei. Diejeni-

Platz für Gott! Ihre Ansprüche an die Augen sind so absurd wie ungerecht. Nichts ist schließlich absurder, als quer durch die Körper sehen zu wollen, durch die die Lichtstrahlen nicht dringen können; und was ein solches Sehen betrifft, das in den Sternen in größter Entfernung die kleinsten Dinge unterscheiden kann und was man sonst noch alles fordert, muß man bemerken, daß unsere Augen für unseren Bedarf eingerichtet sind. Wir müssen vielmehr dieses wunderbare Geschenk des höchsten Wesens mit untätigster Verehrung betrachten."

gen, welche ein gutes Gesicht haben, sind am besten dran, weil sie sowohl nahe als auch weite Gegenstände deutlich sehen können. Jedoch hat dies seine Grenzen und geht nur bis zu einem gewissen Punkt: so gibt es vielleicht keinen Menschen, der in einer Entfernung von einem Zoll und darunter noch deutlich sehen könnte. Wenn Ew. H. eine Schrift so nahe vor die Augen halten, so werden sie die Züge nur sehr undeutlich sehen. Aber ich glaube jetzt genug über diese wichtige Materie gesagt zu haben.

21. August 1760

l'image du soleil où s'exerce la force de brûler. Or cette distance se trouve aisément par l'expérience. C'est de là qu'on tire la dénomination des verres, en disant un tel verre a son foyer à la distance d'un pouce, un autre à la distance d'un pied, un autre à la distance de dix pieds, et ainsi de suite. Les longues lunettes demandent des verres qui aient leur foyer à une grande distance; et il est très difficile de faire des tels verres, qui soient bons. J'ai autrefois payé 150 écus pour un verre qui avoit son foyer à la distance de 600 pieds, que j'ai envoyé à l'Académie de Pétersbourg; et je suis bien persuadé qu'il ne valoit pas grand chose, mais on le vouloit à cause de la rareté. Pour faire voir à V. A. que la représentation de l'image *egf*, (dans la figure précédente) est bien réelle, on n'a qu'à tenir dans ce lieu un papier blanc, dont les particules sont susceptibles de toutes especes de vibrations, d'où dépendent les couleurs. Alors tous les rayons du point *E* de l'objet, en se réunissant au point *e*, y mettront la particule du papier dans un mouvement de vibration semblable à celui qu'a le point *E*, et par conséquent il s'y formera la même couleur. Pareillement les points *g* et *f* auront les mêmes couleurs que les points *G* et *F* de l'objet, et aussi on verra, sur le papier, exprimés tous les points de l'objet, avec leurs couleurs naturelles; ce qui représentera la plus exacte et la plus belle peinture de l'objet. Cela réussit d'autant mieux dans une chambre obscure; mettant le verre dans un trou du volet, où l'on pourra voir sur un papier blanc, tous les objets de dehors si exactement peints, qu'on pourra les suivre avec un crayon. Les peintres se servent d'une telle machine pour dessiner les paysages et les vues.

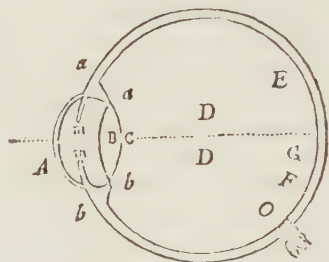
le 13 d'Aout 1760

LETTRE XII

Maintenant je me vois en état d'expliquer à V. A. de quelle maniere se fait la vision dans les yeux des hommes et de tous les animaux, ce qui est sans doute la chose la plus merveilleuse à laquelle l'esprit humain ait pu pénétrer. Quoiqu'il s'en faille beaucoup que nous la connoissions parfaitement, cependant ce peu que nous en savons, est plus que suffisant pour nous convaincre de la Toute-Puissance et de l'infinie sagesse du Créateur; et ces merveilles doivent ravir nos esprits à la plus pure adoration de l'être suprême. Nous reconnoissons dans la structure des yeux, des perfections que l'esprit le plus éclairé ne sauroit jamais approfondir; et le plus habile artiste ne sauroit jamais fabriquer une machine de cette espece, qui ne soit infiniment au-dessous de tout ce que nous découvrons dans les yeux; quand même nous lui accorderions

le pouvoir de former la matiere à son gré, et le plus haut degré de pénétration dont un homme peut être susceptible.

Je ne m'arrêterai pas ici à la description anatomique de l'œil: il suffira à mon dessein de remarquer que la membrane d'avant aAb , est transparente, et se nomme la *cornée*, derriere laquelle on trouve en dedans une autre membrane am , bm , circulaire, teinte de couleurs qu'on nomme l'*iris*; au milieu de laquelle est un trou mm , qu'on nomme la pupille, qui nous paroît noire au milieu de l'iris (oder des Sterns). Derriere ce trou se trouve un corps $bBCa$, semblable à un petit verre ardent, parfaitement transparent, d'une substance membraneuse, qu'on nomme le cristallin. Derriere le cristallin, la cavité de l'œil est remplie d'une gelée parfaitement transparente, qu'on nomme l'*humour vitrée*. Or la cavité d'avant, entre la cornée aAb , et le cristallin ab , contient



une liqueur fluide comme de l'eau, qu'on nomme l'*humour aqueuse*. Voilà donc quatre matieres transparentes, par lesquelles les rayons de lumiere qui entrent dans l'œil, doivent passer: 1° la cornée, 2° l'*humour aqueuse*, entre A et B , 3° le cristallin $bBCa$, et 4° l'*humour vitrée*; ces quatre matieres different en densité, et les rayons passant de l'une à l'autre, souffrent une réfraction particuliere, et sont tellement arrangées, que les rayons qui viennent d'un point de quelque objet, se réunissent au dedans de l'œil encore dans un point, et y présentent une image. Or le fond de l'œil en $E G F$ est tapissé d'un tissu blanchâtre, propre pour recevoir les images, comme j'ai remarqué que par le moyen d'un verre convexe, on peut représenter sur un fond blanc les images des objets. C'est donc conformément au même principe, que tous les objets dont les rayons entrent dans l'œil, se trouvent dépeints au naturel sur le fond blanchâtre de l'œil, lequel fond est nommé la *rétine*. Quand on prend un œil de bœuf, et qu'on en ôte les parties extérieures qui couvrent la rétine, on y voit tous les objets dépeints si exactement, qu'aucun peintre ne sauroit les imiter. Et toujours, pour voir un objet, tel qu'il soit, il faut que son image soit dépeinte au fond de l'œil sur la rétine; et quand, par quelque malheur, il arrive que quelques parties de l'œil se gâtent ou perdent leur transparence, on devient aveugle. Mais il ne suffit pas, pour voir les objets, que leurs images soient dépeintes sur la rétine; il y a des personnes qui, nonobstant cela, sont

avouglés; d'où l'on voit que les images dépeintes sur la rétine ne sont pas encore l'objet immédiat de la vision, et que la perception de notre ame se fait autre part. La rétine dont le fond de l'œil est tapissé, est un tissu des plus subtils filets de nerfs qui communiquent avec un grand nerf, qui venant du cerveau, entre en *O* dans l'œil, et qu'on nomme le nerf optique. Par les rayons de lumière qui forment l'image au fond de l'œil, ces petits nerfs de la rétine en sont agités, et cette agitation est transmise, par le nerf optique, plus loin jusqu'au cerveau; et c'est sans doute là, que l'ame tire la perception; mais le plus adroit Anatomiste n'est pas en état de poursuivre les nerfs jusqu'à leur origine; et cela nous demeurera toujours un mystère qui renferme la liaison de notre ame avec le corps. De quelque manière qu'on envisage cette liaison, on est obligé de la reconnoître pour le plus éclatant miracle de la Toute Puissance de Dieu, que nous ne saurions jamais approfondir. Que ces esprits forts, qui rejettent tout ce qu'ils ne peuvent comprendre par leurs esprits bornés, devraient être confondus par cette réflexion!

le 15 d'Avout 1760

LETTRE VIII

J'espère que V. A. sera bien aise de contempler avec moi, plus soigneusement, les merveilles que nous pouvons découvrir dans la structure de l'œil; et d'abord la pupille nous fournit un très digne objet d'admiration. La pupille est ce trou noir au milieu de l'iris, ou de l'étoile, par lequel les rayons passent dans l'intérieur de l'œil. Plus ce trou est ouvert, plus aussi de rayons peuvent entrer dans l'œil, et former sur la rétine l'image qui y paroît dépeinte; et partant cette image sera d'autant plus brillante, que la pupille sera plus ouverte. Or on n'a qu'à regarder bien les hommes dans leurs yeux, pour voir que l'ouverture de leur pupille est tantôt plus grande et tantôt plus petite. On remarque généralement, que la pupille est fort resserrée, lorsqu'on se trouve dans un grand éclat de lumière, et qu'elle est au contraire fort ouverte, quand on se trouve dans un lieu peu éclairé. Cette variation est très nécessaire pour la perfection de la vision. Quand nous nous trouvons dans une grande lumière, les rayons étant plus forts, une moindre quantité est suffisante pour ébranler les nerfs de notre rétine, et c'est alors que la pupille est resserrée. Si elle étoit plus ouverte, et qu'elle admit des rayons en plus grande quantité, leur force ébranleroit trop les nerfs, et causeroit de la douleur. C'est le cas où nous ne saurions regarder dans le soleil sans être éblouis, et sans une douleur très sensible dans le fond de l'œil. S'il nous étoit possible de contracter encore d'avant-

tage la pupille, pour ne recevoir qu'une très petite quantité de rayons nous n'en sentirions plus d'incommodité; mais la contraction de la pupille ne dépend pas de notre pouvoir. Les aigles ont cet avantage, qu'ils peuvent directement regarder dans le soleil, mais aussi a-t-on remarqué que leur pupille se contracte alors tant, qu'elle paroît être réduite à un point. Comme une grande clarté demande une très petite ouverture de la pupille, ainsi plus la clarté diminue, plus aussi la pupille s'élargit; et dans l'obscurité, elle s'ouvre au point, qu'elle occupe presque toute l'iris. Si l'ouverture demouroit aussi petite que dans la clarté, les foibles rayons qui y entreroient, ne seroient pas capables d'agiter les nerfs autant que le sentiment l'exige. Il faut alors que les rayons entrent dans l'œil en plus grande abondance, pour y produire un effet sensible. S'il nous étoit possible d'ouvrir la pupille encore davantage, nous pourrions encore bien voir dans une assez grande obscurité. On allègue à cette occasion l'exemple d'un homme qui après avoir reçu un coup dans l'œil, eût la pupille tellement élargie, qu'il pouvoit lire et distinguer les moindres choses dans la plus grande obscurité. Les chats et plusieurs autres animaux qui font leurs expéditions dans les ténèbres, ont la faculté d'élargir leur pupille bien plus que les hommes; et les hiboux ont toujours leurs pupilles trop ouvertes pour qu'ils puissent supporter un médiocre degré de clarté. Or, lorsque la pupille des hommes s'élargit ou se resserre, ce n'est pas un acte de leur volonté; et l'homme n'est pas le maître d'ouvrir et de contracter la pupille quand il veut. Dès qu'il se trouve dans un endroit fort éclairé, sa pupille se contracte, et quand il retourne dans un lieu moins clair ou obscur, elle se dilate; mais ce changement ne se fait pas dans un instant; il faut attendre quelques minutes, jusqu'à ce qu'elle s'accommode aux circonstances. Ainsi V. A. aura déjà remarqué, quand Elle est passé subitement d'un grand éclat de lumière dans un lieu obscur, comme dans la comédie de SCHUCH¹⁾, qu'Elle n'a pu d'abord distinguer les personnes qui s'y trouvoient. La pupille étoit encore trop étroite, pour que le peu de rayons foibles qu'elle admettoit, fût capable de faire une impression sensible; mais peu-à-peu la pupille s'élargissoit pour recevoir assez de rayons. Le contraire arrive lorsqu'on passe subitement d'un lieu obscur dans un grand éclat. Alors la pupille étant trop ouverte, la rétine est trop vivement frappée, et on se trouve tout à fait ébloui, de sorte qu'on est obligé de fermer les yeux. C'est donc une circonstance fort remarquable, que la pupille se resserre et s'élargit, selon les besoins de la vision, et que ce changement arrive presque de lui même,

1) FRANZISKUS SCHUCH, 1716-1763, chef d'une troupe d'acteurs fort appréciée par EULER, LESSING, etc. A. S.

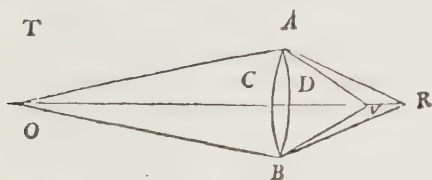
sans que la volonté y ait aucune part. Les Philosophes qui examinent la structure et les fonctions du corps humain, sont fort partagés sur cet article, et il y a peu d'apparence qu'on en découvre jamais la véritable raison. Cependant cette variabilité de la pupille est un article très essentiel à la vision, sans lequel elle seroit fort imparfaite. Mais nous découvrirons encore bien d'autres merveilles.

le 17 d'Avout 1760

LETTRÉ XLIII

Le principe sur lequel la structure de l'œil est fondée, est en général le même, que celui d'où j'ai eu l'honneur d'expliquer à V. A. la représentation des objets sur un papier blanc, par le moyen d'un verre convexe. L'un et l'autre revient à ce que tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet, sont de nouveau réunis dans un seul point par la réfraction; et il semble peu important, que cette réfraction se fasse par un seul verre, ou par plusieurs matières transparentes, dont l'œil est composé. De là on pourroit même soupçonner, qu'une structure plus simple que l'œil, en n'y employant qu'une seule matière transparente, auroit fourni les mêmes avantages, ce qui seroit une instance bien forte contre la sagesse du Créateur, qui assurément a suivi dans ses ouvrages la route la plus simple, et qui a employé les moyens les plus propres. Il y a eu des Esprits forts, et il y en a encore assez, qui se vantent que si Dieu, à la création, avoit demandé leur avis, ils auroient pu lui donner de bons conseils, et que bien des choses seroient plus parfaites. Ils s'imaginent qu'ils auroient pu fournir un plan plus simple, et plus propre pour la structure de l'œil. J'examinerai cet œil des esprits forts, et d'après cet examen, V. A. verra très clairement, que cet ouvrage seroit très défectueux, et tout-à-fait indigne d'être mis en parallèle avec les ouvrages du Créateur.

L'œil de ces esprits forts se réduiroit donc à un seul verre convexe $ACBD$, sur lequel j'ai bien remarqué qu'il rassemble dans un point tous les rayons qui viennent d'un point de l'objet, mais cela n'est vrai qu'à peu près. La figure



circulaire, qu'on donne aux faces du verre, a toujours ce défaut, que les rayons qui tombent sur les extrémités du verre, ne se réunissent pas au même point que ceux qui passent par le milieu du verre. Il y a toujours une petite diffé-

rence, presque insensible dans les expériences où nous recevons l'image sur un papier blanc, mais si elle arrivoit dans l'œil même, elle rendroit la vision fort confuse. Ces gens là disent bien, qu'on pourroit trouver au lieu de la circulaire une autre figure, pour les faces du verre, qui eut cette propriété, qu'elle réunit tous les rayons sortant du point O , de nouveau, dans un point R , soit qu'il passe par le milieu du verre ou par ses bords. Je conviens que cela seroit possible; mais si le verre avoit cette propriété à l'égard du point O , qui se trouve à une certaine distance CO du verre, il ne l'auroit plus pour les points plus ou moins éloignés du verre; et quand même cela seroit possible, ce qui n'est pourtant pas, il est très certain, qu'il perdrait cette qualité à l'égard des objets situés à côté, comme en T . Ainsi voit-on, que lorsqu'on représente les objets sur un papier blanc, quoique ceux qui se trouvent directement devant le verre, comme en O , soient assez bien exprimés, les objets situés obliquement devant le verre, comme en T , sont toujours fort défigurés et confusément exprimés, ce qui est un défaut tel, que le plus habile Artiste ne sauroit y remédier. Mais il y en a encore un autre, qui n'est pas moins considérable. Quand j'ai parlé à V. A. des rayons de diverses couleurs, j'ai remarqué qu'en passant d'un milieu transparent dans un autre, ils souffrent une réfraction différente, et que les rayons rouges souffrent la plus petite réfraction, et les violets la plus grande. Ainsi, si le point O étoit rouge, et que ses rayons en passant par le verre AB fussent réunis au point R , ce seroit là le lieu de l'image rouge; mais si le point O étoit violet, la réunion des rayons se feroit plus près du verre en V . Ensuite, puisque la couleur blanche est un mélange de toutes les couleurs simples, un objet blanc mis en O formeroit plusieurs images à la fois, situées à diverses distances du point O ; d'où résulteroit sur la rétine une tache colorée, qui troubleroit beaucoup la représentation. On observe aussi en effet, que dans une chambre obscure, lorsqu'on y présente sur un papier blanc les objets de dehors, il y paroissent bordés des couleurs de l'arc-en-ciel: et il est même impossible de remédier à ce défaut, en n'employant qu'un seul corps transparent. Or on a remarqué, que cela est possible par le moyen de différentes matieres transparentes; mais ni la Théorie ni la Pratique n'ont encore été portées au point de perfection nécessaire pour pouvoir exécuter une telle construction, qui remédieroit à tous ces défauts. Cependant l'œil que lo créateur a fait, n'a aucune de toutes les imperfections que je viens de rapporter, ni plusieurs autres encore auxquelles l'œil de l'esprit fort seroit assujetti. D'où l'on comprend la véritable raison, pourquoi la sagesse divine a employé plusieurs matieres transparentes à la formation des yeux: c'est pour les affranchir

de toutes les imperfections qui caractérisent les ouvrages des hommes. Quel beau sujet de notre admiration! et le Psalmiste a bien raison de nous conduire à cette importante demande: Celui qui a fait l'œil ne verroit-il pas lui-même? et celui qui a fabriqué l'oreille n'entendrait-il point? Un seul œil étant un chef-d'œuvre qui surpasse tout l'entendement humain, quelle sublime idée devons-nous nous former de celui qui a pourvu non seulement tous les hommes, mais aussi tous les animaux, et même les plus vils insectes? Les yeux sont présents, et cela au plus haut degré de perfection!

le 19 d'Avril 1760

LETTRE XLIV

L'œil surpasse donc infiniment toutes les machines que l'adresse humaine est capable de produire. Les diverses matières transparentes dont il est composé, ont non seulement un degré de densité capable de causer des réfractions différentes, mais leur figure est aussi déterminée en sorte que tous les rayons sortis d'un point de l'objet sont exactement réunis dans un même point, quoique l'objet soit plus ou moins éloigné, situé devant l'œil directement ou obliquement, et que ses rayons souffrent une différente réfraction. Le moindre changement qu'on feroit dans la nature et la figure des matières transparentes, l'œil perdrait d'abord tous les avantages que nous venons d'admirer. Cependant les Athées ont la hardiesse de soutenir que les yeux, aussi bien que le monde tout entier, ne sont que l'ouvrage d'un pur hasard. Ils n'y trouvent rien qui mérite leur attention. Ils ne reconnoissent aucune marque de sagesse dans la structure des yeux. Ils croient plutôt avoir grande raison de se plaindre de leur imperfection, ne pouvant pas voir, ni dans l'obscurité, ni à travers une muraille, ni distinguer les plus petites choses dans les objets fort éloignés, comme dans la lune et les autres corps célestes. Ils crient hautement que l'œil n'est pas un ouvrage fait à dessein, qu'il est formé au hasard, comme un morceau de limon qu'on rencontre dans la campagne, et qu'il étoit absurde de dire que nous avons des yeux afin que nous pussions voir, mais que plutôt ayant reçu les membres par hasard, nous en profitons autant que leur nature le permet. V. A. apprendra avec indignation de tels sentimens, qui ne sont pourtant que trop communs aujourd'hui parmi les gens qui se croient sages tout seuls et qui se moquent hautement de ceux qui trouvent dans le monde des traces les plus marquées d'un Créateur souverainement puissant et sage. Il est inutile de s'engager dans une dispute avec ces gens là; ils demeurent inébranlables

dans leur sentiment, et nient les vérités les plus respectables. Tant il est vrai ce que le Psalmiste dit, que ce ne sont que les fous qui disent dans leur cœur qu'il n'y a point de Dieu! Leurs prétentions à l'égard des yeux sont aussi absurdes qu'injustes. Rien n'est plus absurde en effet que de vouloir voir les choses au travers des corps par lesquels les rayons de lumière ne sauroient passer; et pour ce qui regarde une telle vue, qui pourroit distinguer dans les étoiles les plus éloignées, les moindres objets, il faut remarquer, que nos yeux sont disposés à nos besoins, et tant s'en faut qu'on prétende davantage, nous devons plutôt regarder ce merveilleux présent de l'être suprême avec la plus humble vénération. Au reste afin que nous voyons les objets distinctement, il ne suffit pas que les rayons qui viennent d'un point, soient réunis dans un autre point. Il faut outre cela que ce point de réunion tombe précisément sur la rétine, au fond de l'œil; s'il tomboit en deçà ou au delà, la vision deviendroit confuse. Or si pour une certaine distance des objets, ces points de réunion tombent sur la rétine, ceux des objets plus éloignés tombent dedans l'œil avant la rétine; et ceux des objets plus proches tomberoient derrière l'œil. L'un et l'autre cas causeroit une confusion dans l'image dépeinte sur la rétine. Les yeux de chaque homme sont donc arrangés pour une certaine distance. Quelques uns ne voient distinctement que les objets fort proches de leurs yeux; ces gens sont nommés *Myopes*, et on dit qu'ils ont la vue courte; d'autres qu'on nomme *Presbytes*, ne voient distinctement que les objets fort éloignés; et ceux qui voient distinctement les objets médiocrement éloignés, ont la vue bonne. Cependant chaque espece peut, tant soit peu, par quelque compression, raccourcir ou allonger les yeux, et par ce moyen, ou approcher ou éloigner la rétine, ce qui les met en état de voir aussi distinctement les objets qui sont un peu plus ou moins éloignés; et c'est aussi un grand secours pour rendre nos yeux plus parfaits, qu'on ne sauroit pas assurément attribuer à un pur hazard. Ceux qui ont la vue bonne en retirent le plus grand profit, vu qu'ils sont en état de voir distinctement les choses fort éloignées et fort proches; cependant cela ne va pas au delà d'un certain terme, et il n'y a peut-être personne qui puisse voir à la distance d'un ponce, ou même encore plus petite. Si V. A. tenoit une écriture si près devant les yeux, Elle n'en verroit les caracteres que très confusément. Mais je crois avoir suffisamment entretenu V. A. sur cette importante matiere et je suis etc.

le 21 d'Aout 1760

4.2. Die Erforschung von Ursache und Wirkung der Elektrizität im 17. und 18. Jahrhundert und Leonhard EULERS Beschreibung der Elektrisierung eines Menschen

Die "deskriptive Mehrung des Beobachtungsgutes" (ROTHSCHUH 1960), die einen Hauptteil der wissenschaftlichen Leistungen des 17. und 18. Jahrhunderts darstellte, kann besonders deutlich für ein Kapitel der Physik wie auch - in den Anfängen der Physiologie in Anspruch genommen werden: für die Elektrizität. Nach den Anfängen einer wissenschaftlichen Deutung des Naturphänomens Elektrizität im 17. Jahrhundert setzten die Gelehrten etwa um die Mitte des 18. Jahrhunderts in zunehmendem Maße ihre Erforschung auf die Tagesordnung. Diese Entwicklung ging auch an Leonhard EULER nicht vorüber, er nahm im Gegenteil durch seine Versuche einer theoretischen Durchdringung der physikalischen Eigenschaften der Elektrizität aktiv an der Diskussion teil. Darüber hinaus liegt mit dem 146. Brief der 'Lettres' ein Zeugnis für sein Interesse an den Wirkungen der Elektrizität auf den lebenden Organismus vor, indem er dort von den Auswirkungen der Elektrisierung eines Menschen berichtete (O III 12, 32).

Nach einer Darstellung der Entwicklung der Erforschung von Reibungselektrizität sowie atmosphärischer und tierischer Elektrizität im 17. und 18. Jahrhundert soll im folgenden auf EULERS 146. Brief näher eingegangen werden.

4.2.1. Die Entwicklung der Erforschung von Reibungselektrizität sowie tierischer und atmosphärischer Elektrizität bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts

Im wesentlichen waren es drei Erscheinungsformen der Elektrizität, die die Forscher zum Beobachten und Experimentieren anregten: 1. die Reibungselektrizität, 2. die atmosphärische Elektrizität und 3. etwa von der Mitte des 18. Jahrhunderts an die tierische Elektrizität. Die Beobachtung, daß durch Reibung nicht nur Wärme, sondern auch z.B. beim Haarekämmen oder beim Ausziehen eines Wollhemdes Knistern zu hören und Funken zu sehen sind, die als elektrische Erscheinungen gedeutet wurden, zog eine Reihe von Experimenten nach sich.

CHARLES FRANCOIS DE CISTERNAVY DUFAY (1689 - 1739) konnte beim Reiben von Glas bzw. Schwefel Anziehung oder Abstoßung als Wirkung der Elektrizität erkennen. STEFEN HALES (1677 - 1761) meinte, daß die Reibung des Blutes in den Gefäßen zu Anziehungs- oder Abstoßungserscheinungen der Blutkörperchen führe, was er 1733 in den Kapillargefäßen der Muscheln beobachtet habe, "woraus offenbar ist, daß Körper, wenn sie sich reiben und lebhaft umdrehen, sogar in einem wässerigen fluido eine ... Kraft, welche Elektrizität heißet, bekommen können" (ROTHSCHUH 1960, 25). Neben anderen griff F. BOSSIER DE SAUVAGES (1706 - 1767) diese Ideen auf und führte sie weiter, indem er die Entstehung der Elektrizität im Nerven in Anlehnung an die Vorstellungen von DESCARTES (1662) mit der Reibung des Nervensaftes in den engen Nervenröhrchen erklärte (ROTHSCHUH 1960). Hier findet man also schon die ersten Verbindungen zwischen Reibungs- und tierischer Elektrizität. Eine entscheidende Voraussetzung für eine Reihe von Experimenten brachte dann die KLEISTsche oder Leidener Flasche (1742), weil jetzt größere Mengen an Elektrizität erzeugt und gespeichert werden konnten. Die zu erörternden Ausführungen EULERS über die Elektrisierung eines Menschen stützten sich auf Experimente mit diesem Elektrisierungsapparat.

Die atmosphärische Elektrizität, damals auch Luftelektrizität genannt, gehört natürlich zu der von jeher durch Menschen beobachteten und in ihrer Ursache zu klärenden Erscheinungsform der Elektrizität: Blitz und Donner, Elmsfeuer an Schiffsmasten und Kirchturmspitzen waren seit Menschengedenken bewunderte und gefürchtete Naturphänomene. Im Jahre 1749 erkannte der Abbé J. A. NOLLET (1700 - 1770), daß Blitz und Donner identisch seien mit Funken und Knistern bei elektrischen Entladungen der Reibungselektrizität (ROTHSCHUH 1960). B. FRANKLIN (1706 - 1790) leitete mit dem Drachen 1752 erstmals die atmosphärische Elektrizität auf die Erde herunter und schloß von diesem Experiment auf die Schutzwirkung derartiger Leitungen gegen Blitzschlag: Er erfand 1753 den Blitzableiter, den dann P. DIVIŚ (1696 - 1765) im Jahre 1754 erstmalig in Europa aufstellte (JUŠKEVIČ und WINTER 1959, 8).

Die Petersburger Akademie der Wissenschaften zeigte sich der Erforschung der atmosphärischen Elektrizität sehr aufgeschlossen gegenüber. Hier waren es vor allem LOMONOSSOV (1711 - 1765) und RICHMANN (1711 - 1753), die sie zum Gegenstand ihrer Forschungen machten. RICHMANN fand bei der Beobachtung eines Gewitters 1753 den Tod (JUŠKEVIČ und WINTER 1959, 8). Im selben Jahre wurde auf Vorschlag von LOMONOSSOV eine Preisfrage über die Ursachen der Elektrizität und eine genaue Theorie der elektrischen Kräfte gestellt. Die Auffassungen von LOMONOSSOV wurden dann Leonhard EULER durch SCHUMACHER (1690 - 1761) durch das Übersenden der Schrift 'Über die Erscheinungen der Luft, die von den elektrischen Kräften hervorgerufen werden' zur Beurteilung vorgelegt (O IV A 1, 389/2323 und 2324). An der Beantwortung der Preisfrage beteiligte sich auch EULER, indem er sein Gedankengut seinem Sohne Johann Albrecht zur Ausarbeitung übergab (O IV A 1, 294/1734; HOME 1975). Diese Gemeinschaftsarbeit: 'Disquisitio de causa physica electricitatis' erhielt auch den Preis.

Die Auffassungen von EULER und LOMONOSSOV waren sehr ähnlich. Sie können kurz so wiedergegeben werden: Grundlage für EULERS Erklärung der Ursachen der Elektrizität war seine Äthertheorie. Der Äther bestehe aus kleinster und sehr elastischer ("subtiler") Materie, die die Poren der "groben" Materie durchdringe. Bei der Reibung zweier Körper oder auch zweier Fronten in der Luft mit unterschiedlichem Gehalt an Äther gegeneinander käme es zur Änderung des elastischen Zustandes des Äthers, wobei derselbe immer danach strebe, sich zu entspannen und von Körpern mit kleineren Poren in Körper mit größeren Poren mehr oder weniger schnell überzugehen. Daraus erklärten sich die elektrischen Erscheinungen überhaupt und auch ihre unterschiedliche Vehemenz. Hier sei noch einmal (s. S. 23) darauf hingewiesen, daß EULERS Äthertheorie auch eine Erklärung für die Schwerkraft³¹⁾, für die Flamme, das Licht³²⁾ und den Magnetismus³³⁾ bot.

Eine Verbindung zwischen atmosphärischer und tierischer Elektrizität stellte wiederum F. BOSSIEF DE SAUVAGES (1753) in

seiner Dissertation über die Wirkung der Luft auf den menschlichen Körper (ROTHSCHUH 1960) her. Er nahm an, daß mit der Atemluft ständig elektrische Materie in die Lungen käme, und so "l'air est le véhicule de fluid électrique, qui est apparemment le vrai fluide nerveux, dont dépendent immédiatement les fonctions vitales".

Frühe Hinweise auf das Vorhandensein der tierischen Elektrizität findet man, wie schon erwähnt, bei HALES, DE SAUVAGES, aber auch - mit Zurückhaltung - bei HALLER (1760, 305) und CALDANI (1725 - 1813). Erst "um 1770 erhält die Idee der tierischen Elektrizität einen neuen Anstoß durch die Identifizierung des Schlages der elektrischen Fische mit dem elektrischen Schlage" (z.B. durch J. WALSH 1772 und 1775). Ausgebaut wurde dann diese Idee durch BERTOLON (1742 - 1791) und GALVANI (1737 - 1798), aber auch durch BONNEFOY, der zu den "ausgesprochenen Anhängern einer elektrischen Theorie des Nervenprinzips und der elektrischen Auslösung der Muskelbewegung" (ROTHSCHUH 1960) gehörte.

Diese Entdeckungen und Hypothesen lagen aber zeitlich gesehen schon jenseits der im 146. Brief der "Lettres à une princesse d'Allemagne" geäußerten Vermutungen von EULER, der das Datum 18. Juli 1761 trägt. Mit dem Satz: "Unser Körper ist in seinen kleinsten Teilchen ganz von Äther durchdrungen und die feinsten Fibern sowohl als die Nerven sind so damit angefüllt, daß man ihn ohne Zweifel als die Triebfeder der tierischen Bewegung ansehen kann" (s.S. 134) bewies er, daß er sich engagiert in die Reihe der frühen Befürworter einer tierischen Elektrizität stellte.

4.2.2. EULERS Beschreibung der Elektrisierung eines Menschen im 146. Brief der 'Lettres à une princesse d'Allemagne'

Insgesamt befaßte sich EULER in 17 Briefen (Nr. 137 - 154) der 'Lettres' mit dem Phänomen Elektrizität, wobei er hier seine grundsätzlichen Ansichten über die atmosphärische und die Reibungselektrizität sowie im 146. Brief zumindest zum Teil über die tierische Elektrizität darlegte. Bevor ich

auf EULERS Angaben über die pathophysiologischen Erscheinungen am elektrisierten Menschen eingehe, möchte ich noch zu der Frage Stellung nehmen, welche direkten Anregungen er für seine Arbeiten über die Elektrizität überhaupt und für seine Ausführungen über die tierische Elektrizität und das Für und Wider von Behandlungen bestimmter Krankheiten durch "Elektrotherapie" im besonderen bekommen hatte.

Zunehmendes Interesse an Versuchen mit der Elektrizität zeigte EULER, wie aus seinem Briefwechsel deutlich hervorgeht, etwa mit Beginn der 50iger Jahre des 18. Jahrhunderts. Am 5. September 1753 berichtete ihm DIVIŠ über seine Erfindungen auf dem Gebiet der Elektrizität, deren wichtigste die "Machina tempestativa", der erste in Europa aufgestellte Blitzableiter war (1754; O IV A 1, 110/561). Im selben Jahre wurde von der Petersburger Akademie der Wissenschaften - wie schon erwähnt - eine Preisfrage über die Ursachen der Elektrizität gestellt, obwohl sowohl die Petersburger (O IV A 1, 392/1726) als auch die Berliner (O IV A 1, 388/2315) und die Pariser Akademie der Wissenschaften (O IV A 1, 461/2782) nach dem Tode RICHMANNs wenig Lust verspürten, ihre Experimente auf diesem Gebiet fortzusetzen. DIVIŠ war es wiederum, der anlässlich des schicksalhaften Stromtodes von RICHMANN in einem Brief vom 24. Oktober 1753 (O IV A 1, 109/559) EULER über Sicherheitsbedingungen bei derartigen Versuchen auf dem Gebiet der Elektrizität unterrichtete. Auf derartige Vorkehrungen ging dann auch EULER in seinem 146. Brief der 'Lettres' ein. Am 5. September 1761 berichtete EULER an MÜLLER (O IV A 1, 308/1821), daß er die Theorie der Elektrizität FRANKLINS studiert und ihren wahren Sinn enthüllt habe. Derselbe Adressat war schon am 27. August 1754 von seinem Berliner Freund über Versuche LUDOLFFs (1707 - 1763) zur Erforschung der Ursachen der Elektrizität unterrichtet worden (O IV A 1, 289/1704), wie überhaupt der Briefwechsel zwischen EULER und MÜLLER eine Reihe derartiger Hinweise enthält.

Über Versuche, mit Hilfe der Elektrizität Krankheiten zu heilen, erhielt EULER erstmals Nachricht von MARINONI (1678 - 1755) aus Wien. Er berichtete am 8. November 1747 über Experimente von PIVATI in Venedig, die Podagra

durch Elektrotherapie zu heilen (O IV A 1, 256/1479). Diese Nachricht war für EULER immerhin so interessant, daß er sie am 18. November 1747 an RAZUMOVSKIJ (1728 - 1803, seit 1746 Präsident der Petersburger Akademie der Wissenschaften) weitergab (O IV A 1, 344/2043). Zu einer Zeit, als der direkte Briefwechsel zwischen D. BERNOULLI und EULER unterbrochen war, wurde EULER von J. DIETRICH (gest. 1758, Mechaniker in Basel) über Versuche BERNOULLIs zur Erforschung der Wirkung von Elektrizität auf lebende Organismen unterrichtet (O IV A 1, 109/553).

Erwähnt sei hier noch, daß man nach den Eintragungen in den 'Registres' (WINTER 1957) der Berliner Akademie der Wissenschaften zu urteilen, hier nur wenig Abhandlungen über die Elektrizität gelesen hat. Einmal ist es der schon erwähnte Mediziner und Physiker LUDOLFF, der am 19. Oktober 1747 "une Piece Latine, qui continent des nouvelles recherches sur l'Electricité" las (WINTER 1957, 117) und von der Akademie auch finanziell unterstützt wurde, wie folgende Eintragung beweist: "On alloue à Monsieur Ludolff cent cinquante Rd. pour les faix qu'il a faits en Machines Electriques" (WINTER 1957, 118). Andererseits waren es der Arzt und Physiker AEPINIUS (1724 - 1802), der am 10. März 1757 "un Memoire Allemand, contenant de nouvelles Expériences électriques" vortrug (WINTER 1957, 231), und J. A. EULER, der das EULERsche Gedankengut in zwei Vorträgen am 13. Oktober 1757 und am 10. November 1757 "Sur la cause physique de l'électricité" den Akademiemitgliedern unterbreitete (WINTER 1957, 235). Bei all diesen Vorträgen war Leonhard EULER verbuchtermaßen anwesend.

Die Aussagen von EULERS 146. Brief der 'Lettres à une princesse d'Allemagne', der ansonsten durch seine Klarheit und Verständlichkeit keines weiteren Kommentars bedarf, sollen in folgenden Punkten zusammengefaßt werden:

1. Tierische Körper haben die Eigenschaft, Elektrizität zu leiten. EULER wußte auch, daß ihr Widerstand gegenüber der Elektrizität viel größer ist als der z.B. von metallischen Körpern.

2. Er gab Sicherheitsvorkehrungen bei der Elektrisierung eines Menschen an, auf die ihn schon DIVIS aufmerksam gemacht hatte.
3. Der die elektrischen Erscheinungen durch unterschiedliche Elastizitätsverhältnisse hervorrufende Äther "durch-dringt die feinsten Fibern sowohl als die Nerven..., daß man ihn ohne Zweifel als die vornehmste Triebfeder der tierischen Bewegung ansehen kann". Das Vorhandensein der "tierischen Elektrizität" war für EULER also unumstritten, womit er die spätere Entwicklung auf diesem Gebiet antizipierte.
4. Die dem Menschen zugeführte Elektrizität ruft bei ihm bestimmte pathophysiologische Erscheinungen hervor: Schweißausbruch, Beschleunigung der Bewegung der Körperflüssigkeiten, Pulsbeschleunigung und Schmerzen, wenn der elektrisierte Mensch einen Körper mit geringerem elektrischen Widerstand berührt, sind die auch heute noch anerkannten Veränderungen, die EULER schon beschrieb.
5. Aus diesen pathophysiologischen Veränderungen könne man für die Therapie bestimmter Krankheiten Nutzen ziehen: EULER schrieb dem größeren Durchblutungseffekt beim Elektrisieren Heilwirkung zu. Auch könne man "Verstopfungen heben oder verhüten" (s. S. 135). Das Elektrisieren des Menschen könne aber auch für die Gesundheit schädlich sein, eine Unterscheidung der Fälle von zu erwartender günstiger oder schädlicher Wirkung "verdiente gewiß von Ärzten genauer untersucht zu werden" (s. S. 135).

4.2.3. Zur Bedeutung des 146. Briefes

Allgemeine Bemerkungen zu der Bedeutung der 'Lettres', die im Rahmen dieser Arbeit nur abrißartig sein können, sind in Kap. 4.1.3. aufgezeichnet. Speziell zur Bedeutung des 146. Briefes im Zusammenhang mit EULERS Arbeit auf dem Gebiet der Elektrizität soll noch das Folgende hervorgehoben werden:

1. Die Werke Leonhard EULERS über Elektrizität, Magnetismus und Wärme im Rahmen der Opera omnia befinden sich noch in

Vorbereitung (O III 10). Es ist zu erwarten, daß dort nicht nur eine Einordnung des Stoffes in den Zusammenhang der bis dahin geleisteten Arbeit auf diesem Gebiet im Sinne einer genetischen Geschichtsbetrachtung zu finden ist. Auch in effektorischer Sicht, bezogen auf die Entwicklung der Lehre von der Elektrizität in den nachfolgenden Generationen, wird das EULERSche Werk in die Betrachtungen einbezogen werden - zu dieser Aussage berechtigt jedenfalls die Kenntnis der Einleitungen der bisher erschienenen Opera omnia. Kaum zu erwarten ist allerdings, daß physiologische Gesichtspunkte dabei eine wesentliche Rolle spielen werden.

2. Es steht fest, daß eine wesentliche Leistung EULERS darin besteht, verschiedene Erscheinungen der Natur durch ein heuristisches Prinzip zu erklären versucht zu haben. Eines davon ist sein "nouveau principe de mecanique", Bewegungsabläufe allgemein beschreibende Differentialgleichungen, mit deren Hilfe er nicht nur die Theorie der Hydrodynamik, sondern auch die Theorie von Schallphänomenen (Elastizität der Luft), vom Licht (Schwingungen des elastischen Äthers) und von Elektrizität und Magnetismus (Zustandsänderungen des elastischen Äthers) vorantrieb. Wenn auch erst die weitere Entwicklung der technischen Möglichkeiten, die zusammen mit dem theoretischen Vortrieb der folgenden Generationen ins Zeitalter der Experimentalphysik mündete, die verwertbaren Ideen EULERS von den unfruchtbaren trennen und zwischen Wahrheit und 'Teilwahrheit' die Grenze ziehen konnte, so kommt doch EULER das Verdienst zu, wesentlich daran mitgearbeitet zu haben, daß überhaupt erstmals die verschiedensten Erscheinungsformen der Elektrizität durch eine Theorie erklärt wurden.

3. Die kurze, in den Bereich der Physiologie übergreifende Arbeit EULERS im 146. Brief der 'Lettres' reiht ihn in die Reihe der frühen Befürworter der Theorie des Vorhandenseins der tierischen Elektrizität ein. Seine Worte von der Elektrizität als "les principaux ressorts des mouvements animaux et viteaux" lassen diesen Schluß zu. Immerhin konnte das Vorhandensein der tierischen Elektrizität erst im 3. Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts meßtechnisch erfaßt werden.

4. Auch auf dem Gebiet der Elektrizität stellt EULER den physiologischen Beitrag in den Zusammenhang der physikalischen Ausführungen. Damit wendet er wiederum sein bewährtes Arbeitsprinzip an, das den Raum für Spekulationen einschränkt.

5. Der 146. Brief der 'Briefe an eine deutsche Prinzessin' beschreibt zunächst ein physiologisches Experiment. Darüber hinaus schließt sich EULER der Meinung italienischer Wissenschaftler an, daß aus der physiologischen Wirkung der Elektrizität eine neue Therapiemöglichkeit entstehen könnte. Daß es noch gelte, die Arten von Krankheiten, auf die die Elektrizität einen heilenden Einfluß auszuüben vermag, herauszufinden und abzugrenzen, ist für ihn ein Auftrag an die Ärzte.

4.2.4. Der 146. Brief der 'Lettres à une princesse d'Allemagne' in der deutschen Übersetzung von KRIES und im französischen Original

HUNDERTSECHSUNDVIERZIGSTER BRIEF

So wie man die Elektrizität vermittels einer Kette aus dem Glase in eine eiserne Stange leiten kann, so kann man sie auf eben diese Art auch in den Körper eines Menschen leiten, da alle thierischen Körper diese Eigenschaft mit den Metallen und dem Wasser gemein haben, daß ihre Poren offen sind. Hierzu wird aber erfordert, daß dieser Mensch keine anderen Körper mit offenen Poren berühre.

Zu diesem Ende stellt man ihn auf ein großes Stück Harz oder Pech oder man läßt ihn sich auf einen Stuhl mit gläsernen Füßen setzen oder man hängt endlich den Stuhl in seidenen Schnüren auf, weil alles dieses Materien mit verschlossenen Poren sind, die den Äther, der durch das Elektrisieren in dem Körper des Menschen angehäuft wird, nicht durchlassen. Diese Vorsicht ist durchaus notwendig, denn wenn sich dieser Mensch auf die bloße Erde stellte, so würde der Äther, so wie er sich in seinem Körper verdichtete und eine größere Elastizität¹⁾ bekäme, sogleich in die Erde, deren Poren

1) orig.: "compression", wohl eher als "Dichte" oder "Anreicherung" zu verstehen.

ebenfalls sehr offen sind, übergehen; man müßte also erst die ganze Erde mit Äther überladen, ehe der Mensch elektrisch würde. Aber Ew. H. sehen leicht ein, daß das Kissen, an welchem die Kugel gerieben wird, unmöglich eine so ungeheure Menge Äther hergeben kann, und wollte man ihn aus der Erde selbst ziehen, so würde man nichts damit gewinnen, weil man ihr von der einen Seite so viel nehmen würde, als man ihr von der anderen gegeben hätte.

Wenn man also den Menschen, den man elektrisieren will, auf die vorgeschriebene Art gestellt hat, so darf man ihn nur die Glaskugel, während daß sie gedreht wird, mit der Hand berühren lassen; der in der Kugel angehäuften Äther wird dann leicht durch die offenen Poren der Hand gehen und sich durch den ganzen Körper verbreiten; aus diesem aber wird er nicht so geschwinde herauskommen können, weil die Luft und die übrigen ihn umgebenden Körper verschlossene Poren haben. Anstatt die Kugel selbst mit der Hand zu berühren, ist es auch schon hinreichend, wenn er die Kette oder die eiserne Stange, der ich im vorigen Brief gedacht habe, anfaßt. In diesem Falle aber muß nicht nur der Mensch, sondern auch die Kette und die Stange mit Äther überladen werden; und da hierzu eine größere Menge Äther erfordert wird, so muß man die Kugel länger umdrehen.

Auf diese Weise wird der Mensch ganz elektrisch oder sein ganzer Körper wird mit Äther überladen. Der Äther wird hier also stärker zusammengedrückt sein und eine größere Elastizität¹⁾ haben und daher mit Gewalt aus dem Körper herauszubrechen suchen.

Ew. H. werden leicht urteilen, daß eine solche Operation eine merkliche Veränderung in dem Menschen hervorbringen muß. Unser Körper ist in seinen kleinsten Teilen ganz von Äther durchdrungen und die feinsten Fibern sowohl als die Nerven sind so damit angefüllt, daß man ihn ohne Zweifel als die vornehmste Triebfeder der thierischen Bewegung ansehen kann²⁾.

1) orig.: "compression et élasticité"

2) orig.: "les principaux ressorts des mouvements animeaux et viteaux"

Auch bemerkt man, daß der Puls eines elektrisierten Menschen geschwinder geht; der Schweiß tritt hervor und die Bewegung der feinsten Flüssigkeiten des Körpers wird schneller. Man fühlt auch eine gewisse Veränderung durch den ganzen Körper, die sich nicht beschreiben läßt; daher ist man überzeugt, daß dieser Zustand einen großen Einfluß auf die Gesundheit hat, obgleich die bisher angestellten Versuche noch nicht hinlänglich sind zu bestimmen, in welchen Fällen er heilsam oder nachteilig ist¹⁾. Es kann bisweilen gut sein, daß das Blut und die übrigen Feuchtigkeiten in eine stärkere Bewegung gesetzt werden; man kann dadurch manche Arten von Verstopfung heben²⁾ oder verhüten, die gefährliche Folgen haben könnten; aber zuweilen kann es auch geschehen, daß eine allzu starke Bewegung der Gesundheit schädlich wird. Die Sache verdiente gewiß von den Ärzten genauer untersucht zu werden. Man spricht zwar von einigen sehr glücklichen Kuren, die durchs Elektrisieren bewirkt worden wären, aber man ist noch nicht im Stande, die Fälle gehörig zu unterscheiden, wo man sich einen glücklichen Erfolg zu versprechen hat.

Um auf unseren elektrisierten Menschen zurückzukommen, so ist es sehr merkwürdig, daß man ihn im Dunkeln mit einem Schein umgeben sieht wie ungefähr die Mahler um die Köpfe der Heiligen malen. Die Ursache davon ist leicht zu finden, da aus dem Körper ständig etwas von dem überflüssigen Äther herausströmt und dieser in den verschlossenen Poren der Luft vielen Widerstand findet, so wird er dadurch in eine Erschütterung gesetzt, die der Ursprung alles Lichtes ist, wie ich Ew. H. gezeigt habe.

Man bemerkt noch auffallendere Erscheinungen bei dem Menschen: wenn man ihn anrührt, so sieht man nicht nur aus der berührten Stelle einen starken Funken herausfahren, sondern der Mensch empfindet dabei auch einen mächtigen Schmerz; und derjenige, der ihn anrührt, vorausgesetzt, daß er nicht elektrisiert ist, empfindet ihn gleichfalls. Es könnte daher

1) "nachteilig" ist aus dem Original nicht zu entnehmen, es heißt lediglich "est salulaire ou non".

2) orig. nur: "on peut prévenir"

üble Folgen haben, wenn man ihn am Kopf oder an einem anderen empfindlichen Teile berühren wollte; denn so läßt sich leicht begreifen, daß es nicht einerlei sein kann, ob ein Teil von dem in unserem Körper befindlichen Äther herausströmt, oder ob neuer Äther hineindringt, besonders, wenn es mit einer so großen Schnelligkeit geschieht. Übrigens wird durch die angeführte Erscheinung vom Licht mit dem man einen elektrisierten Menschen im Dunkeln umgeben sieht, dasselbe vortrefflich bestätigt, was ich von der elektrischen Atmosphäre¹⁾ gesagt habe. Nunmehr werden Ew. H. keine Schwierigkeiten mehr haben, den größten Teil der elektrischen Erscheinungen, so verwickelt sie auch auf den ersten Anblick²⁾ erscheinen mögen, zu erklären.

18. Juli 1761

1) Zusatz im Original: die allen Körpern innewohnt

2) Zusatz im Original: für andere

De cette maniere, plus les pores d'un corps sont ouverts, et plus est il propre à recevoir un plus haut degré d'électricité, et de produire des effets prodigieux. V.A. conviendra que tout cela est très conforme aux principes que j'ai établis au commencement.

le 14 Juillet 1761

LETTRE CXLVI

Comme on peut transporter l'électricité du verre dans une barre de fer, par le moyen d'une chaîne, qui y établit une communication, on peut de la même maniere faire passer l'électricité dans le corps d'un homme, attendu que les corps des animaux ont avec les métaux et l'eau cette commune propriété, que leurs pores sont fort ouverts: mais il faut que cet homme ne touche point à d'autres corps dont les pores sont aussi ouverts.

Pour cet effet on place l'homme sur un grand morceau de poix, ou on le fait asseoir sur une chaise soutenue par des colonnes de verre, ou enfin on suspend cette chaise par des cordes de soye, puisque toutes ces matieres ont leurs pores assez fermés pour ne pas laisser échapper l'éther, dont le corps de l'homme devient surchargé par l'électrisation.

Cette précaution est absolument nécessaire; car si le corps de l'homme étoit posé sur la terre nue, qui a aussi ses pores assez ouverts: dès que l'éther dans le corps de l'homme seroit porté à un plus haut degré de compression, il se déchargeroit aussitôt dans la terre, et il faudroit être en état de surcharger la terre toute entiere d'éther, avant que l'homme devint électrique. Or V.A. comprend aisément, que le coussin, dont la boule de verre est frottée, ne sauroit suffire à fournir une si prodigieuse quantité d'éther, et quand on en voudroit tirer de la terre même, on n'avanceroit rien, puisqu'on lui en ôteroit d'un côté autant qu'on lui en auroit donné de l'autre.

Ayant donc placé l'homme qu'on veut électriser, comme je viens de l'indiquer, on n'a qu'à lui faire toucher avec la main la boule de verre pendant qu'elle tourne, et l'éther accumulé dans la boule passera aisément par les pores ouverts de la main et se répandra par tout le corps; d'où il ne sauroit plus échapper si aisément, puisque l'air et tous les corps dont il est environné, ont leurs pores fermés. Au lieu de le faire toucher la boule avec la main, il suffira aussi qu'il touche la chaîne ou la barre de fer même, dont j'ai parlé dans la lettre précédente; mais dans ce cas, non seulement l'homme lui même doit être surchargé d'éther, mais aussi la chaîne avec la barre de fer, et comme cela

demande une plus grande quantité d'éther, il faut travailler plus longtems à faire tourner la boule, pour en fournir suffisamment.

De cette manière l'homme devient tout entier électrique, ou bien tout son corps sera surchargé d'éther, qui y sera porté par conséquent au plus haut degré de compression et d'élasticité, d'où il s'efforcera d'en échapper.

V. A. jugera bien, que cet état violent ne sauroit être indifférent à l'homme. Notre corps dans toutes ses moindres parties est tout-à-fait pénétré d'éther, et les moindres fibrilles, aussi bien que les nerfs en sont si remplis, que cet éther renferme sans doute les principaux ressorts des mouvemens animaux et vitaux. Aussi observe-t-on que le pouls d'un homme électrisé marche plus vite; la sueur est excitée en lui, et le mouvement des plus subtiles liqueurs, dont notre corps est rempli, devient plus rapide. On sent aussi un certain changement par tout le corps, qu'on ne sauroit décrire, et on n'est que trop assuré, qu'un tel état a une grande influence sur la santé, quoiqu'on n'ait pas encore fait assez d'expériences pour déterminer en quels cas cette influence est salutaire ou non? Quelques fois il peut être bon que le sang et les autres humidités soient mises dans une plus vive circulation, et on peut prévenir certaines obstructions qui pourroient avoir des suites fâcheuses, mais quelques fois, il peut arriver qu'une trop forte agitation soit nuisible à la santé. La chose seroit bien digne, que les Médecins y apportassent plus de soins, pour la mieux examiner. On se vante bien de quelques guérisons très surprenantes opérées par l'électrisation, mais on ne peut pas encore assez bien distinguer les occasions, où l'on peut s'en promettre un bon succès.

Pour retourner à notre homme électrisé, il est très remarquable, que dans l'obscurité on le voit entouré d'une lumière, comme celle que les peintres représentent autour des têtes des Saints. La raison en est assez évidente: car puisqu'il s'en échappe continuellement quelques parties de l'éther, dont le corps est surchargé, et qu'il rencontre dans les pores fermés de l'air beaucoup de résistance, il est mis dans une certaine agitation, qui est l'origine de toute la lumière, comme j'ai eu l'honneur de le prouver à V. A.

Mais dans cet état, où l'homme électrisé se trouve, on remarque des phénomènes très surprenans: quand on le touche, on voit non seulement sortir du lieu touché des étincelles très fortes, mais cet homme y souffre encore une douleur très vive. Aussi si c'est un autre homme dans son état naturel, ou non électrisé, qui le touche, tous les deux ressentent cette douleur qui pourroit bien avoir des suites funestes, surtout quand on le touche à la tête, ou dans quelque autre endroit très sensible. De là V. A. comprend combien peu il nous est in-

différent, qu'une partie de l'éther contenu dans notre corps s'en échappe, ou qu'il en entre de nouveau, surtout quand cela se fait avec une si prodigieuse rapidité.

Au reste la lumière dont on voit entouré un homme électrisé dans l'obscurité, confirme admirablement ce que j'ai eu l'honneur de dire sur l'atmosphère électrique, qui environne tous les corps; et V. A. ne trouvera plus aucune difficulté sur la plupart des phénomènes électriques, quelques inexplicables qu'ils paroissent à d'autres.

le 18 Juillet 1761

LETTRE CXLVII

V. A. se souvient, que non seulement le verre devient électrique par le frottement, mais que d'autres matières, comme la cire d'Espagne et le soufre ont la même propriété, tant que leurs pores sont aussi fermés, de sorte que soit qu'on y fasse passer trop d'éther, ou qu'on les en dépouille d'une partie, elles se conservent pendant quelque temps dans cet état, sans que l'équilibre soit si tôt rétabli.

Ainsi au lieu d'un globe de verre, on se sert aussi de globes de cire d'Espagne ou de soufre, qu'on fait tourner autour d'un axe pendant qu'ils frottent contre un coussin, de la même manière que j'ai eu l'honneur d'exposer à l'égard d'un globe de verre. Par ce moyen on rend ces globes également électriques et en leur appliquant une barre de fer qui ne les touche que par des minces filets, ou franges de métal, incapables d'endommager le globe, l'électricité se communique aussi tôt à cette barre, d'où on peut ensuite la transmettre en d'autres corps à volonté.

Cependant on découvre ici une différence bien remarquable. Un globe de verre étant rendu électrique de cette façon, devient surchargé d'éther, et la barre de fer ou d'autres corps qu'on y met en communication, en acquièrent une électricité de même nature; ou bien l'éther s'y trouve dans une trop grande compression, dont l'élasticité est augmentée. Cette électricité est nommée *positive* ou *électricité en plus*. Mais quand on traite de la même manière un globe de cire d'Espagne, ou de soufre, il en naît une électricité directement contraire, qu'on nomme *negative* ou *électricité en moins*, puisqu'on remarque que par le frottement ces globes deviennent dépouillés d'une partie d'éther renfermé dans leurs pores.

V. A. sera surprise de voir comment le même frottement peut produire des effets tout-à-fait opposés; mais cela dépend de la nature des corps frottans et

4.3. 'Meditatio de formatione vocum' - ein Beitrag Leonhard EULERS zur barocken Phonetik

Mit der 'Meditatio de formatione vocum' ist uns aus dem EULERSchen Nachlaß eine Arbeit überliefert, die Zeugnis von den barocken Vorstellungen zur Phonetik, speziell zur Lehre von der Erzeugung der Sprachlaute, ablegt. P. H. FUSS veröffentlichte sie erstmals im Jahre 1862 im Rahmen der 'Opera postuma' Leonhard EULERS (Vol. 2, S. 798 - 799), nachdem er sie im Jahre 1844 aufgefunden hatte. Die Arbeit ist nicht datiert und regt somit zum Nachdenken über ihre mögliche Entstehungszeit an. Da hierzu in dem ihren erneuten Abdruck enthaltenden Band der 'Opera omnia' (III 1, 587 bis 590) in der Einleitung nicht Stellung genommen wird, möchte ich einige Überlegungen zur Entstehungszeit der inhaltlichen Analyse der 'Meditatio' voranstellen und gleichzeitig die Bezugspunkte zu EULERS jahrzehntelangem Wirken auf dem Gebiet der Akustik als physikalische Disziplin andeuten.

4.3.1. EULERS Beziehungen zur Phonetik

Die Frage nach der Entstehungszeit der 'Meditatio', die natürlich nicht als Selbstzweck gestellt werden soll, führt durch einen Abschnitt von EULERS 'Dissertatio physica de sono' (Basel 1727; O III 1, 191) in seine frühe Schaffensperiode, möglicherweise sogar in die Zeit seines Medizinstudiums. In diesem Abschnitt findet man auf nicht ganz 10 Druckzeilen ein Brevier seiner Anschauungen zur Phonetik, die logisch in den physikalischen Zusammenhang einge-
reicht werden.

Im nächsten Abschnitt (24) erklärte EULER geradezu programmatisch, daß er einige Themen der Akustik, wie die Tonerzeugung in Blasinstrumenten oder die Theorie des Echos "und vieles andere" noch ausführlicher und genauer bearbeiten wolle, denn vieles bisher in anderen Schriften Veröffentlichte sei "konfus" und zum größten Teil falsch. Es liegt nahe, zu dem "vielen anderen" auch die Phonetik zu rechnen. Im Sinne einer ausführlicheren Bearbeitung hätte

dann EULER mit seiner 'Meditatio de formatione vocum' Wort gehalten.

Die in der vorliegenden Arbeit schon häufig hervorgehobene Methodik EULERS, von exakt naturwissenschaftlichen Erkenntnissen zu naheliegenden Themen der angewandten Wissenschaften überzugehen, findet bei der Darstellung seiner Überlegungen zur Phonetik ein erneutes, hier in seiner frühen Schaffensperiode anzutreffendes Beispiel: In der 'Dissertatio physica de sono' teilte EULER die Laute nach ihrer Entstehungsart in drei Gruppen ein: 1. alle Laute, die durch das Erbeben fester Körper, 2. alle, die durch plötzliche Kompression der Luft (Knall, Beispiel: Kanonendonner) und 3. alle, die durch Bewegung der Luft in Röhren entstehen. Ein Zusammenwirken der Mechanismen 1. und 3. ist nach EULERS im Abschnitt 22 der 'Dissertatio' verbuchter Ansicht bei der Lauterzeugung verschiedener Blasinstrumente und Orgelpfeifen (Beispiel: Zungenpfeifen) Prinzip. Hier wie dann auch in der 'Meditatio' gab er schon das Orgelregister "vox humana" als Beispiel dafür an, die menschliche Stimme durch Instrumente zu imitieren. Im 137. Brief der 'Lettres à une princesse d'Allemagne', auf den noch eingegangen werden soll, führte er den Gedanken einer Imitation der Sprachlaute soweit aus, daß man an einen Utopieroman von Jules VERNES erinnert wird.

Aber weder in der 'Meditatio' noch im 137. Brief erfährt man von EULER, welche anatomische Struktur seiner Meinung nach bei der Lauterzeugung der Stimme die Funktion der vibrationsfähigen "lingula" übernehmen soll. So überrascht die im Abschnitt 23 der 'Dissertatio' aufgezeichnete Bemerkung, daß es sich dabei um die Epiglottis handeln soll. Es ist mir nicht gelungen, die Quelle für diese Ansicht EULERS zu finden. Falsch war jedenfalls die Vorstellung, die Schwingungen der Epiglottis seien der Tongenerator der Stimme, auch schon beim damaligen Erkenntnisstand, denn in den Jahren 1700 bis 1707 hatte der französische Arzt DODART (1634 - 1707) in den 'Mémoires' der "Académie Royale des Sciences" in Paris mehrere Abhandlungen mit neuen, weit über die GALENSchen Vorstellungen hinausgehenden Erkenntnissen zur Erzeugung des Stimmtones durch die

Stimmlippen veröffentlicht (REICH 1952, 1790). Auch wenn DODART sich noch nicht eindeutig äußerte, ob er nun die Lauterzeugung im Stimmorgan mit einer Lippen- oder Zungenpfeife vergleichen solle, so nahm er doch zweifellos als Pendant für "labium" oder "lingula" die Stimmlippen und nicht die Epiglottis.

Im Abschnitt 24 der 'Dissertatio' erfährt man dann von EULER, daß "soni a lingulis tremulis ... nil fere auribus percipitur ... nisi in tubis confirmetur". Damit ging er zur Frage nach der Bedeutung des Ansatzrohres über. Als ein Beispiel dafür gab er expressis verbis die Mundhöhle an, die nicht nur notwendig ist, den Ton überhaupt hörbar zu machen (Verstärkung), sondern auch über die Entscheidung, ob dumpfe oder scharfe Töne entstehen, bestimmt (Modulation). Genau hier setzt die Thematik der 'Meditatio de formatione vocum' ein, die nicht nur das Verhalten der Mundhöhle, sondern auch das des Rachens und des Nasenraumes bei der Erzeugung der Vokale und der durch die Konsonanten gegebenen Artikulationen beschreibt.

Das Thema Phonetik griff Leonhard EULER in den Berliner Jahren erneut auf, indem er - wie schon erwähnt - den 137. Brief der 'Lettres à une princesse d'Allemagne' vom 16. Juni 1761 unter den Titel "Sur les merveilles de la voix humaine" stellte. In den Ausführungen gekürzt, in der Aussage aber der 'Meditatio' deckungsgleich, bot EULER seine Erklärung der Entstehung der Laute (noch einmal) der jungen Prinzessin in "populärwissenschaftlicher Form". Nur in einem Gedankengang übertraf er in diesem Brief die Ausführungen der 'Meditatio': in der schon angedeuteten Idee, die menschliche Stimme durch Instrumente zu imitieren. Danach müßten verschieden geformte Blasinstrumente nur so mensuriert werden, daß sie die verschiedenen Vokale erzeugen und sie artikulieren könnten. Eine Klaviatur würde dann wie bei einer Orgel oder einem Clavicin die Steuerung der Reihenfolge des Ertönsens der Laute und Artikulationen übernehmen, so daß z.B. ein Prediger mit unzulänglicher oder unangehmer Stimme dann - ähnlich dem Organisten auf dem Gebiet der Musik - mit einem Instrument ("machine") umgehen,

also "sprechen" könnte. "Ce serait sans doute une des plus importantes découvertes..." und "la chose ne me paroît pas impossible" (O III 12, 12) - diese beiden Passagen geben die persönliche Meinung des Schweizer Mathematikers wieder, der weit in unser Jahrhundert sah, auch wenn nicht die Mechanik, sondern die Elektronik die "Sprechmaschine" Wirklichkeit werden ließ.

Da nun EULER der Konstruktion von Instrumenten, die die Vokale perfekt imitieren können, eine solch große Zukunft voraussagte, wollte er andere Forscher seiner Zeit dazu aufrufen, die Vokale a, e, i, o und u soweit zu analysieren, daß es möglich werde, durch Klangsynthese "künstlich" dieselben wiederum zu erzeugen. So schlug er in einem Brief an STÄHLIN (1709 - 1785; Konferenzsekretär der Petersburger Akademie der Wissenschaften) am 12. Mai 1765 in einer Zusammenstellung von für zukünftige Preisfragen geeigneten Themen auch das folgende vor:

"Cum Theoria soni jam ita exculpta, ut ratio sonorum gravium et acutorum, quae fundamentum harmoniae continetur, satis perspicue intelligatur, aliaeque sonorum differentiae explicari possint; ea sonorum diversitas, qua vocales a, e, i, o, u efferentur, adhuc prorsus est incognita, unde indoles sonorum, quibus singulae vocales enunciantur, explicanda proponitur, simulque quaeritur, annon ejusmodi instrumenta confieri possint, quae sonos vocalium perfecte imitentur" (JUŠKEVIĆ und WINTER 1976, S. 236).

Diese Frage wurde tatsächlich 15 Jahre später in zwei Teilen als Preisfrage für das Jahr 1780 von der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg in folgendem Wortlaut gestellt:

"Qualis sit natura et character sonorum litterarum vocalium a, e, i, o, u, tam insigniter inter se diversorum. Annon construi queant instrumenta ordini tuborum organicorum, sub termino vocis humanae noto, similia, quae litterarum vocalium a, e, i, o, u sonos expriment" (PANCONCELLI-CALCIA 1940, S. 46 f).

Den Preis gewann dann KRATZENSTEIN (1723 - 1795) - ein inzwischen in Kopenhagen lebender Physiker und Astronom, den EULER persönlich kannte und wegen seines außerordentlichen Geschicks, theoretische Überlegungen in die Praxis umzusetzen, sehr schätzte. Nicht nur die schon erwähnte (s. S. 24) fruchtbare Arbeit EULERS für die Petersburger Akademie von Berlin aus wird hierin deutlich, sondern auch sein Bemühen, sich ihm bietende interessante Fragestellungen an die Fachwelt weiterzugeben: in diesem Falle also ein phonetisch-theoretisches Thema, zu dessen eigener Bearbeitung er wohl offenbar keine Chance mehr sah.

Die Ernsthaftigkeit, mit der EULER als Physiker und Mathematiker an der Erforschung der physikalischen Größen und Beziehungen arbeitete, die dem durch Empirie weit gekommenen Instrumentenbau eine bessere wissenschaftliche Basis vermitteln sollten, spiegelt auch ein relativ spätes Werk: In seiner 'Sectio quarta de motu aeris in tubis' (1771; O II 13, 262) stellte er ausführliche Berechnungen über die Tonbildung in verschieden geformten Blasinstrumenten auf der Grundlage seiner von den allgemeinen Bewegungsgleichungen der Mechanik hergeleiteten Wellenlehre an. Eine Würdigung dieser EULERSchen Arbeit, die damit auch die in der Phonetik so wesentliche Verhaltensweise des Ansatzrohres einer mathematisch-physikalischen Analyse unterzog, hat C. A. TRUESDELL (O II 13, LXX) gegeben: "Throwing aside his didactic plan, he (EULER) has pushed into an almost entirely unexplored domain, the mathematical theory of wind instruments. Nearly a century was to pass before anyone else dared to attempt this subject". Auch wenn diese Arbeit keine ausdrücklichen Passagen zur Phonetik enthält, andererseits die oben erwähnten Arbeiten ('Dissertatio', 'Meditatio' und der 137. Brief der 'Lettres'). aber keinerlei Berechnungen bringen, so haben doch alle die gemeinsame Problematik der Modulation des Tones durch das Ansatzrohr. In diesem Blickwinkel scheint mir die Aufnahme der 'Meditatio de formatione vocum' in den Kreis der Arbeiten EULERS, die zu den Anfängen einer biophysikalisch-biomathematischen Denkweise Beziehungen aufweisen, gerechtfertigt.

4.3.2. Zu EULERS Erklärung der Bildung von Vokalen und Konsonanten in der 'Meditatio de formatione vocum'

Die schon bis ARISTOTELES verfolgbare Einteilung der Elemente der Sprache in Vokale und Konsonanten (PANCONCELLI-CALCIA 1942, 78) wurde auch von EULER benutzt. Andere Einteilungsprinzipien, wie z.B. in "Selbstlaute und Mitlaute", die fälschlich oft nur als deutsche Begriffe für "Vokale und Konsonanten" angesehen werden, im Sinne CERMAKS aber ein eigenständiges System darstellen (REICH 1952, 1797), wurden erst im 19. Jahrhundert geprägt, wo das Überdenken überlieferter Prinzipien auf dem Gebiet der Phonetik dann mit der weiteren, naturwissenschaftlichen Erforschung der Sprachlaute mit neuen technischen Mitteln zu weiterführenden Ergebnissen gelangen konnte.

EULER unterteilte die Vokale in zwei Klassen: "crassiores" und "graciliores", und diese dann weiter in Begriffspaare wie "femininum - masculinum" (e), "acutum - obtusum" (i, ü, u, o) und "apertum - obtusum" (a). Die Einteilung in "weite" und "schlanke" Vokale entlehnte er der Beobachtung, daß Mund- und Rachenraum bei der Bildung der Vokale entweder weit- oder enggestellt sind. Eine Parallele zu diesen Begriffen findet sich wiederum im Orgelbau: Hier war seit langem bekannt, daß weite Pfeifen (als "Weitchor" in Orgeln eingebaut bis zum Jahre 1511 zurückverfolgbar (KLOTZ 1965, 51)) grundtonreicher und obertonärmer klingen als enge. In ähnlicher Weise könnten auch die Begriffe "acutum" (Register "scharf"), "apertum" (offene Pfeife) und "obtusum" (gedackte Pfeife) dem Orgelbau entlehnt und zum Vergleich mit Vokalen herangezogen worden sein. Für die Begriffe "femininum" und "masculinum" bei der Unterteilung der Vokale läßt sich dagegen keine derartige Parallele finden; hier kann es sich wohl nur um Assoziationen zwischen Klangcharakter und Geschlechtscharakterisierung handeln.

Arbeitete EULER in der 'Meditatio' bei der Frage nach der Bildung der Vokale das statische Verhalten des Ansatzrohres heraus, so stellte er dem die Dynamik der verschiedenen anatomischen Strukturen des Mund-Nasen-Rachenraumes bei

der Bildung der Konsonanten gegenüber: Vibrationen der Zunge, der Lippen und der Pharynxmuskulatur sowie schnelle Öffnung und plötzlicher Verschluß bestimmter Abschnitte des Mund-Nasen-Rachenraumes durch Lippen, Gaumensegel und Zunge bilden die Prinzipien bei der Bildung der Konsonanten, "mit denen die Anfänge oder Enden der Vokale gestaltet werden" (s. S. 152). Darüber hinaus werden andere Konsonanten (z.B. l, s, f, j) durch den unvollständigen Verschluß z.B. der Mundhöhle durch die Zunge oder durch die Lippen gebildet, so daß die Luft unter Erzeugung eines jeweils typischen Geräusches herausströmt.

Erst im 19. Jahrhundert benutzten Linguisten Einteilungsprinzipien für die Konsonanten, die einmal den Bildungsort, andererseits die Bildungsart zur Grundlage hatten. Ein derartiges Schema gab EULER nicht an, gestaltete jedoch seine Darstellung des Stoffes so logisch und übersichtlich, daß man das Einteilungsprinzip nach der Art der Lautbildung ohne Mühe seinem Text unterlegen darf. Die diesen beiden Unterteilungsarten entsprechenden Begriffe (Liquidae, Vibrantes, Explosivae, Fricativae und Resonantes bzw. labiale, dentale, gutturale und linguale Konsonanten) brachte EULER ebenfalls noch nicht, in Tab. 1 kann aber gezeigt werden, daß die von EULER nach der Bildungsart zusammengefaßten Konsonanten in diese Begriffe einzugliedern sind. Heute sind Tabellen im Gebrauch, die beide Systeme der Gliederung enthalten (LULLIES 1962, 950) und zusätzlich eine weitere Unterteilung in stimmlos und stimmhafte Konsonanten berücksichtigen. Ihnen liegt die weitere experimentelle Erforschung phonetischer Probleme zugrunde, die erst durch die technischen Möglichkeiten des 19. und 20. Jahrhunderts reifen konnte.

Leonhard EULER begab sich mit der, 'Meditatio de formatione vocum' in ein Gebiet, das als selbständiger Wissenschaftszweig noch nicht geboren war. An den Grundlagen der Phonetik zu arbeiten, fühlten sich somit Gelehrte der verschiedenartigsten wissenschaftlichen Abstammung berufen, wobei man - forscht man ihnen nach - auf "Universalgelehrte" wie LEONARDO DA VINCI (1452 - 1519), Ärzte wie DODART und

Einteilung der Lautbildung nach dem Bildungsort	Lautgruppen, die aus der "Meditatio de formatione vocum" von L. EULER herauszulesen sind	Einteilung der Lautbildung nach der Bildungsart
Begriffe	Konsonanten	Konsonanten Begriffe
labiale	B, P, M, W, F	L Liquidae
lingua- dentale	D, T, S, SCH, J, R, L, N	R (alle Arten) Vibrantes
palatale	G, K, Ng, Zäpfchen-R palatales CH	P, B, T, D, K, G Explosivae
dorso- fauciale	pharyngeales CH	F, W, S, SCH, CH, H Fricativae
laryngeale	H	N, M, Ng Resonantes

Tab. 1 (Unter Verwendung einer Tabelle aus LULLIES 1962, S. 950 und Angaben von REICH 1952)

und FERREIN (1693 - 1749) oder aber eben auf Physiker und Mathematiker wie EULER stößt.

Konnte dann im 19. Jahrhundert durch die Experimente von HELMHOLTZ (Resonanztheorie) und HERMANN (1838 - 1914 ; Anblasetheorie) die Grundlage für die auch heute noch gültige Theorie der Lauterzeugung durch das Stimmorgan geschaffen werden, so konnte man das, was EULER zur Verhaltensweise des physiologischen Ansatzrohres beschrieb, schon als richtig voraussetzen. Wegen ihrer späten Entdeckung konnte die 'Meditatio de formatione vocum' den Phonetikern des 19. Jahrhunderts kaum noch Neues bringen, wohl aber ist sie ein für die Geschichte der Phonetik wie für die EULER-Forschung wichtiges Zeugnis, bietet sie doch einerseits den Beweis, daß das Thema dem genialen Wissenschaftler wertvoll genug erschien, bearbeitet zu werden, andererseits wird man auch durch diese kleine Arbeit auf das Interesse EULERS an physiologischen Problemstellungen im allgemeinen erneut aufmerksam gemacht.

4.3.3. 'Meditatio de formatione vocum' von Leonhard EULER in einer deutschen Übersetzung und im lateinischen Original

Mit der Grundhaltung, im Interesse der Erhaltung der historischen Integrität den Text möglichst vorlagegetreu wiederzugeben, soll im folgenden eine deutsche Übersetzung der 'Meditatio de formatione vocum' von Leonhard EULER angeboten werden.

Die der Übersetzung angefügte Kopie des lateinischen Originals stammt aus dem erneuten Abdruck dieser kleinen EULERSchen Arbeit in der Serie III der 'Opera omnia' (O III 1, 587 bis 590), während im Vergleich dazu der Erstabdruck in den 'Opera postuma' von 1862 allein wegen des kleineren Druckes und des dunkleren Papierses für die Anfertigung der Kopie nicht den Vorzug bekam.

Betrachtungen über die Lautbildung

Oft und reichlich habe ich darüber nachgedacht, was wohl die Ursache für solche verschiedenen und fast unzähligen Laute sei, die die Menschen hervorzubringen imstande sind, um das Gedankengut ihrer Seele anderen zu eröffnen. Die menschliche Stimme ist nämlich so beschaffen, daß die Künstler sie bisher durch kein Instrument nachzuahmen und ihre verschiedenen Schwingungen auszudrücken vermocht haben. Solche, die menschliche Stimme vortäuschende Instrumente werden in Orgeln eingebaut, jedoch repräsentieren sie nicht die Stimme selbst, sondern einen gesungenen einfachen Ton. Auch bringen dieselben Instrumente keine unterschiedlichen Vokale - von den Konsonanten spreche ich jetzt nicht - hervor, jedoch ist es leicht wahrzunehmen, daß jeweils andere Töne auch einem anderen Vokal ähnlich sind. So neigen die Instrumente, die schärfere Töne abgeben, besonders zum lateinischen *ae* oder zum griechischen *ai*; diejenigen aber, die dumpfere Töne erzeugen, zum *o* oder nochmehr zum stumpfen *u*. Ich habe all das beobachtet, und mir ist folgendes in den Sinn gekommen: ob nicht solche Instrumente so angefertigt werden können, daß sie einen beliebigen Vokal zu erzeugen vermögen? So habe ich beobachtet, daß dies von der Figur der Röhre abhängt, und zwar genauso, wie die verschiedene Stellung des Mundes eine Ursache für die verschiedenen Vokale ist. Ist diese Stellung bekannt, so wird die Figur der Röhre für die Erzeugung eines bestimmten Vokals festgelegt werden können. Führen wir also die Bewegungen aus und beachten wir, wie dann die Figur des Mundes, die Stellung der Zunge und die Bedingungen beim Rachen sind, wenn wir die verschiedenen Vokale aussprechen.

Wenden wir uns dieser Angelegenheit aufmerksam zu, so entdecken wir zwei Klassen von Vokalen: zum einen die der dickeren¹⁾, zum anderen die der schlankeren²⁾. Zwischen

1) orig.: "crassiores"

2) orig.: "graciliores"

ihnen gibt es unendlich viele Übergänge, die Abstufungen von der einen zur anderen darstellen. Diese beiden Klassen sind also Extreme. Der grundlegende Unterschied zwischen ihnen ist die Stellung des Mundes zum Rachen sowie die Form des Rachens. Schlanke Laute kommen zustande, wenn der Rachen zusammengezogen wird, so daß die Mundhöhle gegen den Rachen hin konvergiert. Wenn aber der Mund erweitert und der Rachen entspannt wird, dann entstehen die dickeren Vokale. Beide Klassen bieten auf mannigfaltige Weise verschiedene Laute, und zwar entsprechend einer anderen Stellung der vorderen Mundhöhle. Dennoch enthält jede Klasse vorzugsweise drei Grundvokale, entsprechend nämlich der größtmöglichen Erweiterung, der größten Straffung und der Mittelstellung der vorderen Mundhöhle. Zur ersten, als die der schlankeren Vokale aufgestellten Klasse gehört es, wenn die vordere Mundhöhle erweitert wird und der Vokal so entsteht, der vom Volk schlechterdings für einen Zwiellaut gehalten wird. Wie sich aber die Sache mit dem Zwiellaut verhält, erhellt aus folgendem: Bei den Deutschen ist derselbe Vokal unter dem Zeichen e besonders am Schluß der Verben, wie 'werden', 'leben' sehr gebräuchlich, so daß der Buchstabe e am häufigsten ausgesprochen wird. Man nennt ihn 'e femininum'. Wird die vordere Mundhöhle so weit wie möglich verkleinert, so wird der Laut i entstehen, also derselbe scharfe Vokal, der in den deutschen Wörtern 'ich', 'Mathis' ausgesprochen wird. Wenn die Mundhöhle in Mittelstellung gehalten wird, erhält man den Vokal 'e masculinum', wie in den deutschen Wörtern 'stehen', 'gehen' usw. Es gibt also drei Grundvokale der ersten Klasse: 1. das e femininum, 2. das e masculinum und 3. das i acutum.

Dazwischen gibt es allerdings zahlreiche Zwischenstufen. Zwischen 1. und 2. ist keine in Gebrauch; zwischen 2. e masculinum und 3. i acutum (scharfes i)¹⁾ wird besonders ein Mittellaut, nämlich das i obtusum (stumpfes i), wie in den deutschen Wörtern 'dich', 'richten' usw. benutzt.

1) Die Klammern enthalten eine mögliche deutsche Übersetzung, ich halte es aber für besser, das lat. Wort als BEGRIFF stehen zu lassen.

Auf dieselbe Weise entstehen die drei Grundvokale der zweiten Klasse, der Klasse der dickeren Laute. Wird die vordere Mundhöhle so sehr wie möglich erweitert, so entsteht das 'a apertum' (das völlig offene a), wie im Hebräischen 'א patach', im Deutschen 'Blatt', 'matt'. Wenn derselbe Teil der Mundhöhle größtmöglich verengt und die Lippen vorgestreckt werden, hört man den Vokal 'u acutum' (scharfes u), wie im Deutschen 'Uhr'. Wird die vordere Mundhöhle in Mittelstellung versetzt, nimmt man den Vokal o wahr. Somit gibt es drei Grundvokale der zweiten, der Klasse der dickeren Laute: 1. das a apertum, 2. das o und 3. das u acutum. Zwischen 1. und 2. dieser Grundvokale wird ein Mittelvokal gebraucht, nämlich das a obtusum (das stumpfe a), wie im Deutschen das Wort 'Grad' und fast jedes von den Schweizern und Bayern ausgesprochene a. Bei den Hebräern ist das lange a das Kamets א. Zwischen o und u kommt der Mittelvokal u obtusum (stumpfes u), wie im Deutschen 'Bruch', 'Stuck' usw. zu Gebrauch.

Nun werden aber auch Zwischenlaute zwischen den Vokalen beider Klassen erzeugt, nämlich dann, wenn der hintere Teil der Mundhöhle in der Mitte zwischen größter Erweiterung und größter Verengung gehalten wird. Und so ist zwischen den jeweiligen ersten beider Klassen, dem 'e femininum' und dem a, bei den Franzosen ein Mittellaut in Gebrauch, der zwar dicker als das e, aber schlanker als das a ist, so in den Wörtern 'infaillible', 'paille', nicht aber wie in 'Roi' usw. Zwischen den jeweils zweiten der beiden Klassen, den Vokalen e masculinum und o, wird der Zwischenlaut oe gebildet, der im Deutschen in den Wörtern 'König', 'göttlich' usw. gebraucht wird. Zwischen den jeweils dritten, nämlich dem i und dem u acutum (scharfes i und u) ist der Mittellaut ü acutum (scharfes ü) in Gebrauch. So wie diesen Laut sprechen die Schweizer auch das eu aus, wie in 'heulen', wo sie 'hülen' sagen. Und zwischen den jeweiligen Zwischenlauten beider Klassen, dem i und dem u obtusum (stumpfes i und u) haben wir nun von neuem eine Zwischenstufe, das ü obtusum (stumpfes ü), z.B. in den deutschen Wörtern 'Übel', 'verkünden' usw. Damit ist also dargelegt, auf welche Weise die Vokale gebildet werden und worin ihre

Unterschiede bestehen.

Es sei somit zu den Konsonanten übergegangen, die bestimmte Modifikationen der Vokale sind. Mit ihnen wird der Anfang oder das Ende letzterer versehen. Auf mannigfaltige Weise können wir die Vokale mit einem Laut beginnen und desgleichen sie beenden, das macht, daß auch die Konsonanten mannigfaltig sind. Die Mittel, mit denen die Anfänge oder die Enden der Vokale gestaltet werden, sind 1. der Hauch durch den Mund, 2. der Hauch durch die Nasenlöcher, 3. die Lippen, 4. die Zunge und 5. der Rachen: Geht einem Laut ein Hauch durch den Mund voran, so entsteht der Buchstabe h, der spiritus asper der Griechen. Wenn er einem Laut folgt, so wird das ebenfalls mit dem h angezeigt. Wird die Zunge so gestellt, daß die an ihr vorüberstreichende Luft denselben Effekt hervorruft wie bei dem Zünglein, das in Zungenpfeifen eingebaut ist, dann wird nämlich die Zunge durch die Zitterbewegung der Luft einmal den Durchgang freigeben und einmal versperren. Ist dies dann von einem Laut begleitet, dann entsteht der Konsonant r. Auf diese Weise kann auch ein anderer Konsonant geformt werden: Die Zitterbewegung ist dann dergestalt, daß durch das Aufeinanderanschlagen der Lippen diese abwechselnd die Luft durchlassen und zurückhalten. Diese Abwandlung ist aber, soviel ich weiß, in keiner Sprache in Gebrauch. Die übrigen Konsonanten leiten ihre Entstehung sowohl vom unterschiedlichen Öffnungs- als auch Schließungsgrad der Lippen, der Zunge und des Rachens her. Wenn die Lippen plötzlich geöffnet oder geschlossen werden, wobei weder durch den Mund noch durch die Nasenlöcher ein Hauch hinzukommt, dann entsteht der Buchstabe p. Geschieht dasselbe mit der Zunge, daß sie also durch das plötzliche Lösen vom oder das Anschlagen an den Gaumen dem Laut den Ausgang gewährt oder versperrt, dann wird der Buchstabe d erzeugt und beim Anfügen eines Hauches das t. Durch plötzliches Öffnen des Rachens am Anfang oder durch seinen Verschuß am Ende eines Lautes entsteht ohne anschließenden Hauch der Buchstabe g und mit anschließendem Hauch der Buchstabe k. Wenn in

selbiger Weise die Lippen geöffnet oder verschlossen werden, jedoch unter Hinzutreten eines Hauches durch die Nasenlöcher, dann entsteht der Buchstabe m. Indem dasselbe von der Zunge bewerkstelligt wird und wenn wiederum ein Hauch durch die Nasenlöcher dabei ist, dann wird der Buchstabe n erzeugt. Begleitet schließlich ein Hauch durch die Nasenlöcher das Öffnen oder Schließen des Rachens, so wird der Buchstabe v der Hebräer ausgesprochen, der durch die Buchstaben gn richtig wiedergegeben wird. Wenn die Lippen nicht vollständig geschlossen werden, so daß ein Hauch frei werden kann, dann wird der Buchstabe w gebildet. Wird die Zunge an den Gaumen gelegt, so daß sie jedoch dem Hauch den freien Ausgang nicht versperrt, vernimmt man den Buchstaben l. Geschieht dasselbe im Rachen, dann erhält man den Buchstaben j, der wie in den deutschen Wörtern 'jagen', 'ja' klingt. Werden schließlich Lippen, Zunge und Rachen um einiges mehr verschlossen, wird aber die Luft mit etwas Kraft ausgestoßen, dann formen die Lippen den Buchstaben f, die Zunge den Buchstaben s und der Rachen das ch, das griechische χ und das v der Hebräer. Der Mensch kann also folgende einfache Konsonanten bilden: 1. h, 2. r, 4. b, 5. d, 6. g, 7. m, 8. n, 9. v, 10. w, 11. l, 12. j, 13. f, 14. s und 15. χ. Die drei Konsonanten p, t und k zähle ich nicht gesondert auf, weil sie Zusammensetzungen aus b, d und g auf der einen und h auf der anderen Seite darstellen. Ich meine, daß dies eine vollständige Aufzählung der Konsonanten ist und kein weiterer gebildet werden kann, der nicht entweder hier erscheint oder aus diesen zusammengesetzt ist.

MEDITATIO DE FORMATIONE VOCUM¹⁾

Commentatio 852 indicis ENESTROEMIANI

Opera postuma 2, 1862, p. 798—799

Saepe et multum id mecum cogitaveram, quae sit ratio tam diversorum eorumque fere innumerabilium sonorum, quos homines edere valent ad animae suae cogitata aliis patefacienda. Eiusmodi enim est vox humana, ut nullo instrumento eam imitari eiusque diversas inflexiones exprimere artifices hucusque potuerint. Quae organis pneumaticis inseruntur instrumenta humanam vocem mentientia, ea non quidem ipsam vocem, sed cantum hominum, sonum quendam simplicem, repraesentant. Neque iisdem instrumentis varios exhibent vocales; de consonantibus nihil dixerim, quanquam facile sit percipere alios sonos ad alium inclinare vocalem. Ut, quae acutiores edunt sonos, praecipue ad *ae* latinum vel *ai* graecum inclinant, graviores vero ad *o* vel potius *u* obtusum. Haec mihi observanti in mentem venit, an ista instrumenta non ita parari possent, ut unumquemque vocalem edere queant. Id quod observavi a figura tubi dependere, eodem modo, quo varia conformatio oris una est causa variorum vocalium. Quae conformatio si cognita sit, poterit inde figura tubi, ut datum edat vocalem, determinari. Observemus ergo, quos motus faciamus, quae sit figura oris, quae forma labiorum, qui situs linguae et quae conditio faucium, quando diversos efferimus vocales.

1) Confer hac cum dissertatione epistolam 137 *Sur les merveilles de la voix humaine*, in L. EULERI *Lettres à une princesse d'Allemagne sur divers sujets de physique et de philosophie*, t. II, St Pétersbourg 1768; LEONHARDI EULERI *Opera omnia*, series III, vol. 9. F. R.

In hanc rem intenti deprehendimus duas vocalium classes, unam crassiorum, alteram graciliorum, quas inter quidem infinitae intermediae seu gradus ex hac ad alteram existunt. Hae duae autem sunt quasi extremae. Discrimen essentielle inter has classes est conformatio oris ad fauces seu forma faucium. Graciles prodeunt soni, si fauces contrahuntur et ita cavitas oris versus fauces convergens redditur. Sin autem ibi os dilatatur [et fauces] remittuntur, vocales oriuntur crassiores. Utraque classis infinitis modis distinctos sonos supeditabit pro alia atque [alia] oris anterioris conformatione. Praecipue tamen quaevis tres continet vocales primarios, pro anterioris oris maxima dilatatione, maxima restrictione et statu medio. Ad primam, quam graciliorum ponam, classem quod attinet, si ibi anterior oris cavitas dilatatur, oriatur vocalis *ae*, qui vulgo pessime pro diphtongo habetur. Quomodo autem res se habeat cum diphtongis, ex sequentibus intelligitur. Germanis iste vocalis in maximo est usu sub signo *e* in terminationibus verborum praecipue ut *werden*, *leben*, et hoc modo littera *e* plerumque effertur vocaturque *e femininum*. Si anterior oris cavitas ope linguae, quantum fieri potest, contrahitur, sonus hinc ortus erit *i*, vocalis isque acutus, quemadmodum enunciatur in germanicis verbis *ich*, *Mathis*. Si cavitas oris in statum intermedium constituatur, habebitur vocalis *e masculinum*, ut in germanicis *stehen*, *gehen* etc. Sunt ergo tres principales primae classis vocales hi: 1) *e femininum*, 2) *e masculinum* et 3) *i acutum*.

Hos inter dantur quidem plurimi intermedii. Inter 1 et 2 tamen nullus est in usu; inter 2) *e masculinum* et 3) *i acutum* maxime in usu est medius, nempe *i obtusum* ut in germanicis *dich*, *richten* etc.

Eodem modo prodeunt tres vocales primarii classis secundae, sonorum crassiorum. Si cavitas oris anterior, quantum fieri potest, extendatur, oritur vocalis *a*, planum apertum, Hebraeis $\aleph$ patach, *Blatt*, *matt* Germanis. Si eadem anterior oris pars maxime contrahitur et labia protenduntur, audietur vocalis *u* acutum ut in germanico *Uhr*. Si eadem cavitas anterior in statu medio collocetur, percipietur vocalis *o*. Sunt ergo tres primarii secundae classis sonorum crassiorum hi: 1) *a apertum*, 2) *o* et 3) *u acutum*. Horum inter 1 et 2 vocalis medius usurpatur *a obtusum* ut in germanico *Grad* et fere omne *a*, prout a Suevis et Bavaris pronuntiatur. Hebraeis est *a longum* Kametz $\aleph$. Inter *o* et *u* usu venit medius vocalis *u obtusum* ut in germanicis *Bruch*, *Stuck* etc. Dantur iam etiam soni intermedii inter vocales utriusque classis, cum scilicet pars oris posterior medium tenet inter maximam extensionem et contractionem. Et ita inter utriusque primos *e*

femininum et *a* apud Gallos in usu est medius quidam crassior quam *e* [femininum] tamen gracilior quam *a* ut in verbis *infaillible*, *paille*, nec non in *Roi* etc. Inter utriusque classis secundos vocales *e* masculinum et *o* datur medius *oe*, apud Germanos usitatus in vocibus *König*, *göttlich* etc. Inter tertios *i* et *u* acutos in usu est medius *ü* acutum. Sub hoc sono enuntiant Helvetii *eu*, ut in *heulen*, ubi legunt *hülen*. Inter utriusque classis intermedios *i* obtusum et *u* obtusum habemus denuo intermedium *ü* obtusum in vocibus germanicis *Übel*, *verkündigen* etc.

Quomodo vocales formentur et qua in re posita sit eorum differentia, expositum est. Pervenitur ergo ad consonantes, qui sunt modificationes certae vocalium, quibus initium vel finis eorum afflicitur. Variis modis vocales sono inchoare possumus, variis item eos finire, unde fit, ut varii sint consonantes. Organa, quibus vel initia vel fines vocalium afficiuntur, sunt 1) halitus per os, 2) halitus per nares, 3) labia, 4) lingua et 5) fauces. Si halitus per os sonum praecedit, oritur littera *h*, Graecorum spiritus asper. Si sonum sequitur, itidem signo *h* indicatur. Si lingua ita collocetur, ut aër exiens in eam eundem edat effectum ac in lingulam in instrumentis lingulis instructis, si nempe lingua motu tremulo nunc aëri transitum praebeat, nunc occludat, hoc si sonum comitetur, oritur consonans *r*. Hoc modo alius posset formari consonans, eiusmodi motum tremulum labiis infligendo, ut alternatim aërem emittant et cohibeant, ista autem modificatio in loquela nulla, quantum scio, in usu est. Reliqui consonantes ortum ducunt a varia labiorum, linguae et faucium cum aperitione tum conclusionem. Si labia subito aperiuntur vel clauduntur neque accedente halitu oris neque narium, oritur littera *b*; si simul aspiratio *h* accedit, littera *p*. Si idem fiat cum lingua, ut sono exitum subito eam a palato removendo praebeat vel prohibeat eam palato admovendo, habebitur littera *d* et accedente aspiratione littera *t*. Apertis subito ad soni initium faucibus seu clausis ad finem nullo accedente halitu, oritur littera *g*; si eadem aspirata offeratur, littera *k*. Si eodem modo labia aperiuntur vel clauduntur accedente autem halitu per nares, oritur littera *m*. Eidem operationi linguae si accedat halitus per nares, orietur littera *n*, et tandem faucium aperitionem et conclusionem si comitetur halitus per nares, effertur littera Hebraeorum *z*, si recte pronuntiatur per *gn*. Si labia non penitus clauduntur, ut halitus libere fieri queat, oritur littera *w*. Si lingua palato admoveatur quidem, sed tamen halitu liberum exitum non deneget, audietur littera *l*. Idem si observetur in faucibus, habebitur littera *j* consonans ut in germanicis *ja*, *jagen*. Si tandem, labia, lingua et fauces aliquantum magis claudantur, aër vero vi expellatur,

labia formabunt litteram *f*, lingua litteram *s* et fauces litteram *ch*, Graecorum *χ* et Hebraeorum *ϣ*.

Potest ergo formare homo sequentes simplices consonantes: 1) *h*, 2) *r*, 3) ille, qui ex vibrationibus labiorum oritur, 4) *b*, 5) *d*, 6) *g*, 7) *m*, 8) *n*, 9) *z*, 10) *w*, 11) *l*, 12) *j*, 13) *f*, 14) *s*, 15) *χ*. Hisce tres *p*, *t* et *k* non adnumero tanquam compositas ex *b*, *d*, *g* et *h*. Existimo hanc esse consonantium perfectam enumerationem neque ullum alium formari posse, qui nec hic habeatur nec ex hisce componatur.

4.4. Appendix

Der rege Briefwechsel EULERS mit dem Mathematiker GOLDBACH, der 1729 begann und sich während der Berliner Zeit EULERS intensivierte, hat bis auf eine Ausnahme keine physiologischen Themen zum Inhalt. Ein aus einem Brief von GOLDBACH und EULERS Antwort bestehender Auszug aus dieser Korrespondenz (JUŠKEVIČ und WINTER 1965) gehört aber doch in den Rahmen der vorliegenden Arbeit, die mit dieser Appendix gleichzeitig ihren Abschluß findet.

VAN LEEUWENHOEK hatte 1722 eine Beobachtung mitgeteilt, nach der sich jeweils 6 Blutkörperchen immer in einer übergeordneten Einheit im Verband befänden. Diese angebliche Gesetzmäßigkeit, die sicherlich auf Zufallsbefunden bei noch einfachen mikroskopischen Techniken beruht und möglicherweise das Phänomen der "Geldrollenbildung" der Erythrozyten zur Grundlage hat, wurde nach den Angaben GOLDBACHS von nicht genannten Zeitgenossen spekulativ ausgeschlachtet. Sie meinten nämlich, daß die Anzahl 6 überhaupt beim Aufbau der Blutkörperchen Konstruktionsprinzip sei. Das einzelne Blutkörperchen bestände dann aus 6 kleineren Elementen, diese könnten wiederum in 6 weitere Corpusculn zerlegt werden usw., so daß schließlich eine geometrische Reihe entstünde.

Experimentell war diese Hypothese nicht prüfbar. So fühlte sich GOLDBACH als Mathematiker angesprochen, dieser Frage nachzugehen. In seinem Brief vom 20. September 1742 stellte er dazu eine Rechnung an (s.S. 157), die in folgender Aussage mündete: Die geometrische Reihe mit dem Dividenten 6 würde schließlich im unendlich Kleinen enden. Derartig kleine Partikel könnten im Mikroskop aber niemals gesehen werden, was der "expérience zuwider läuft". Folglich lehnte GOLDBACH vom mathematischen Standpunkt eine derartige Theorie ab.

Interessanterweise wandte sich GOLDBACH nun aber nicht an medizinische Kapazitäten, um seine Argumente anbringen und bestätigen zu lassen. In der Gewißheit, daß er hier eine vom Spekulativen freie Prüfung der Frage nach dieser Hypothese erhalten könne, sandte er seine Überlegungen nach Berlin und holte sich die Meinung EULERS dazu ein.

EULER griff die Angelegenheit sofort in seinem Brief vom 16. Oktober 1742 auf (s. S. 158). Er bestätigte die Richtigkeit der von GOLDBACH mitgeteilten Überlegungen und brachte seine eigenen, mehr physikalisch orientierten Betrachtungen an. Er stellte fest, daß jedes Blutkörperchen ein Gewicht haben müsse, das keinesfalls kleiner als das spezifische Gewicht des Wassers sein könne, somit also immer größer als 1 angenommen werden müsse. Wenn aber die sechs jeweils kleineren Elemente erster, zweiter bis n-ter Ordnung zusammengesetzt wieder mindestens das spezifische Gewicht des Wassers ergeben sollen, dann müßten die Elemente, wenn sie in dritter Ordnung dann schon solid wären, ungefähr das spezifische Gewicht des Goldes haben. Schon dies hielt EULER für unwahrscheinlich, eine Aufteilung höherer Ordnung könne jedoch wegen des dann nicht mehr vorstellbaren sehr hohen spezifischen Gewichtes, das die Teilchen dann haben müßten, physikalisch gesehen nicht akzeptiert werden.

Der Gegenstand dieser beiden Briefe ist heute uninteressant geworden: Die Biochemie hat die Strukturformel des Hämoglobins aufgedeckt, Physik und Technik haben die Voraussetzung geschaffen, Erythrozyten z.B. mit einem Rasterelektronenmikroskop in allen Einzelheiten ihrer Morphologie zu betrachten. Ebenso wertvoll wie im 18. Jahrhundert bleibt aber die Methodik der theoretischen Durchdringung und mathematisch-physikalischen Aufarbeitung von primär physiologischen Fragestellungen. Ist es aber heute unverantwortlich, derartige Arbeitsmethoden aus der naturwissenschaftlichen Forschung herauszuhalten, so stellten sie damals zumindest

für viele Bereiche der angewandten Naturwissenschaften, zu denen auch die Physiologie gehört, nur von Einzelnen beschriftetes Neuland dar. Es sollte noch fast 100 Jahre lang - ich möchte im Bild bleiben - mit den Spuren der ersten Pflugscharen brach liegen, ehe das Feld der experimentellen exakt naturwissenschaftlich begründeten Physiologie weiter bestellt und die ersten großen Ernten eingebracht werden konnten. Mit den wenigen Vorarbeitern auf diesem Gebiet - ihre Namen sind zu einem großen Teil in dieser Arbeit genannt - hat auch Leonhard EULER den Pflug geführt.

GOLDBACH an EULER

Moskau, 20. Sept./1. Okt. 1742

Es ist unlängst bei einer gewissen Gelegenheit darüber rai-
soniert worden, ob die globi sanguinei, welche nach des
LEEUEWENHOEKS Observation 6 zusammen einen globum majorem
formieren^{x)}, nicht ferner aus 6 kleinern und diese wieder
aus 6 kleinern et sic infinitum zusammengesetzt sein könnten?
Wann aber 6 globi intra cavitatem globi majoris solcherge-
stalt konzipieret werden, daß sie sich einander so viel
möglich berühren, so wird der diameter globi cuiusvis minoris
sich ad diametrum globi maioris, in quo continentur, verhal-
ten wie 1 zu $1+\sqrt{2}$, und wann dieses auf die globos sanguineos,
deren ein jeder für sich selbst nicht eigentlich ein globus,
sondern ein aggregatum sex minorum globorum ist, applizie-
ret wird, diese kleineren globuli aber, wie gemeldet, aus
6 noch kleineren etc. bestehen sollen, so findet es sich,
daß man notwendig bei einem gewissen gradu determinato mit
solcher diminutione globorum aufhören muß; denn weil die
soliditas omnium globorum ex ordine n ad soliditatem unius
globi ex ordine prima ist

wie $\frac{6^{n-1}}{(1+\sqrt{2})^{3n-3}}$ ad 1 so würde, wann die subdivisio auf

gleiche Art in infinitum fortginge, propter $n = \infty$, das
aggregatum omnium istorum globorum respectu globi maximi
infinite parvum sein, folglich auch mit dem besten
microscopio nicht gesehen werden können, welches der
expérience zuwider läuft.

x) Vgl. Thomas GALE, Antonii à Leeuwenhoek Arkana naturae detecta,
Leiden 1722, S. 1 - 5

EULER an GOLDBACH

Berlin, 16./27. Okt. 1742

Ew. Wohlgeb. Reflexion über die compositionem globorum sanguineorum hat ihre völlige Richtigkeit. Dergestalt, daß, wann eine similis compositio in infinitum fortginge, die quantitas materiae völlig evanescierte. Es sei A das Volumen eines globi sanguinei, welches zugleich die quantitatem materiae oder sein Gewicht anzeigen würde, wann der globus solid oder massiv wäre; ist aber derselbe aus 6 globulis zusammengesetzt, welche alle solid sind, so ist die quantitas materiae nur

$$= \frac{6 A}{(1 + \sqrt{2})^3} = \frac{6 A}{7 + 5\sqrt{2}} = 0,0710678118 \cdot 6A \text{ od. } = 0,4264068706 A;$$

das ist, die quantitas materiae in einem solchen globulo sanguineo contentae wird beinahe $\frac{14}{6}$ mal kleiner sein, als wenn derselbe solid wäre. Sollten diese 6 globuli wiederum aus 6 noch kleinern zusammengesetzt sein, so würde die quantitas materiae und folglich das pondus $\frac{14}{6} \cdot \frac{14}{6}$ das ist $\frac{196}{36}$ oder 5mal geringer, und auf solche Art bald imperceptibel werden. Da nun aber doch ein jeder globulus sanguineus ein Gewicht hat, so ist klar, daß diese Art der Zusammensetzung nicht weit fortgeht und nicht einmal sich über die dritte Ordnung erstreckt. Dann sollte ein jeder von diesen globulis wiederum aus 6 andern bestehen; wann auch diese so schwer als Gold angenommen würden, so könnte doch das wirkliche Gewicht nicht herauskommen. Um dieses deutlicher einzusehen, so sei die gravitas specifica materiae, exqua globuli non amplius compositi constant = n; wann also die globuli sanguinei selbst solid wären und aus dieser materiae beständen, so würde ihre gravitas specifica gleich n oder

	= 1,0000000 · n,
wären aber die globuli II. ord. solid,	
so ist die gravitas specifica	= 0,4262068 · n
sind erst die globuli III. ord. solid,	
so ist die gravitae specifica	= 0,1818228 · n
sind die globuli IV. ord. solid, so ist	
die gravitas specifica	= 0,0775305 · n
sind die globuli V. ord. solid, so ist	
die gravitas specifica	= 0,0330595 · n

Wann also die *gravitas specifica ultimae materiae sanguinem constituentis* so schwer wäre als Gold, und erst die *globuli V. ord. solid* wären, so würde doch die *gravitas specifica sanguinis* schon 30mal kleiner sein als des Golds, und also fast um die Hälfte leichter als Wasser. Da nun die *gravitas specifica sanguinis* nicht kleiner ist als des Wassers und die *ultima materia* bei weitem nicht so schwer als Gold angenommen werden kann, so ist ganz klar, daß dieser *modus compositionis eiusque globuli sex minoribus* sich unmöglich *ultra III. ordinem* erstrecken könne.

5. Anmerkungen

Die Kapitel 3.3.2, 4.1.4., 4.2.4. und 4.3.3. haben Fußnoten, so daß im folgenden nur die Anmerkungen der übrigen Kapitel erscheinen.

1) Wie schon auf S. 5 erwähnt, liegt seit 1975 eine die gesamte bisher aufgefundene wissenschaftliche Korrespondenz umfassende Beschreibung und Kurzfassung der Briefe von und an EULER mit der Serie IV A Band 1 der Opera omnia (O IV A 1) vor. Neben einer Reihe von Registern enthält er auch Hinweise auf ausführliche Veröffentlichungen des EULERSchen Briefwechsels. In weiteren Bänden der Serie IV werden dann auch die zur Publikation vorbereiteten überwiegend privaten Briefe sowie bisher unveröffentlichte Manuskripte erscheinen.

2) Das Datum der Ankunft in Petersburg wird bei KRÖBER mit dem 6. Mai 1727 angegeben (EULER 1964, 7). Laut Tagebuchnotiz im "Diarium" (MIKHAÏLOV 1959, 275) kreuzte EULERS Segelschiff zu dieser Zeit aber noch bei ungünstigen Windverhältnissen zwischen Bornholm und Gotland, und die Passagiere waren alle seekrank. Möglicherweise aber differieren beide Angaben nur wegen des Bezugs auf unterschiedliche Kalender.

3) Das Datum der Erblindung des rechten Auges wird unterschiedlich angegeben: FUSS (1785) nennt das Jahr 1735. Dem entsprechend drückt im Frühjahr 1735 MÜLLER (O IV A 1, 286/1658) seine Besorgnis über eine Krankheit EULERS aus. Am 8. November 1738 erst erwähnt D. BERNOULLI eine schwere Krankheit EULERS und erkundigt sich nach dem Zustand seines Auges (O IV A 1, 24/123). So bleibt offen, ob es sich um zeitlich divergierende Angaben über dieselbe Krankheit oder um zwei verschiedene Leidensperioden handelt.

4) Nach MIKHAÏLOV (1959, 260) bestand dieses "neue Prinzip" in der Anwendung des zweiten NEWTONschen Gesetzes auf ein

Element des kontinuierlichen Körpers, wobei jenes auf die gegenwärtige Form gebracht und auf ein unbewegliches Koordinatensystem bezogen war. Es lieferte EULER ein Mittel, die Grundlagen der gesamten modernen Hydrodynamik der idealen Flüssigkeiten zu schaffen.

5) Die Vornamen von Leonhard EULERS ältestem Sohn werden allgemein mit "Johann Albrecht" angegeben (z. B. THIERSCH 1929; WINTER 1957).

6) Die Eintragung in den 'Registres' (WINTER 1957, 68) lautet: "Du Jeudi 9 Octobre: Il n'ya point en à Assemblée à cause des circonstances publiques".

7) Ausführliche und weitere Literatur darüber findet sich bei WINTER (1957, 48) in der Einleitung zu den 'Registres'.

8) Aus den 'Registres' (WINTER 1957) geht hervor, daß EULER bei fast der Hälfte aller dort verzeichneten Sitzungen der Akademie Vorträge gehalten hat.

9) Die 'Lettres' sind zwar erst 1768 in Petersburg verlegt worden, der Unterricht der Prinzessin fand jedoch von Berlin aus statt (1759 bis 1761).

10) Das Buch von B. ROBINS mit dem Titel "New principles of gunnery", London 1742, regte EULER so an, daß er schon 1745 bei A. HAUDE in Berlin seine mit ausführlichen Anmerkungen und Verbesserungen versehene deutsche Fassung 'Neue Grundsätze der Artillerie' herausbrachte.

11) Gemeint ist Christian Freiherr von WOLFF (1679 - 1754), Professor der Philosophie und der Mathematik in Halle/Saale und Marburg.

12) EULERS Anleitung zur Naturlehre, worin die Gründe zur Erklärung aller in der Natur sich ereignenden Begeben-

heiten und Veränderungen festgesetzt werden', war in Vergessenheit geraten. Erst P. H. FUSS hatte es wiederentdeckt und in den 'Opera postuma' 1862 veröffentlicht. Das Datum seiner Entstehung war nach TRUESDELL (1955, C, Fußnote) nicht leicht herauszufinden, es müßte aber aus inhaltlichen Gründen in die Jahre 1756 bis 1758 zu datieren sein.

13) Eine Eintragung in den 'Registres' (WINTER 1957) vom 27. September 1748 lautet: "Mr. EULER a lu un Mémoire 'sur la perfection des verres objectifs des lunettes'".

14) Die 'Scientia navalis' von 1749 und deren Fortsetzung 'Vollständige Theorie des Baues und der Behandlung der Schiffe' von 1773 (O II 18 bis 21), beide in Petersburg verlegt, stellten ein geeignetes Lehrbuch für Seefahrtsschulen dar. Sie erlebten russische, italienische und französische Übersetzungen und brachten EULER von der russischen Monarchin 2000 Rubel und vom französischen König 6000 L. als Preis für den praktischen Nutzen des Werkes ein.

15) Die Schreibweise der russischen Namen ist hier original aus dem Briefwechsel übernommen worden. Ansonsten wurde die diakritische Schriftzeichentranskription (Transliteration der kyrillischen Schrift) gemäß internationaler Konvention angewandt.

16) Er ist der "Stammvater" der MECKELschen Ärztedynastie und war Professor der Anatomie, der Botanik und der Geburtshilfe in Berlin. Er wurde 1773 als "Edler von Helmsbach" geadelt (SCHIEHORN 1969).

17) ELLER und LIEBERKÜHN waren Schüler von Hermann BOERHAAVE (1668 - 1738). In seiner 'Physiologia' gab ELLER auch ganz das BOERHAAVEsche Gedankengut wieder. LIEBERKÜHN trug durch seine großen Leistungen in der Mikroskopie, deren Ergebnisse er z.B. in seiner Arbeit 'Beschreibung der Krypten des Dünndarmes' (1745) veröffentlichte, wesentlich zu neuen Erkenntnissen in der Anatomie des Darmes bei (ROTHSCHUH 1953, 33 und 74).

18) In einem Brief von J.A. EULER an W. J. G. KARSTENS vom 4. November 1766 heißt es: "... mein Vater hat gestern um sein und seiner ganzen Familie, welche aus achtzehn Seelen besteht, Abschied angehalten..." (Zit. nach WINTER 1957, 86). Die ersten Gesuche EULERS hatte der König unbeantwortet gelassen und auch später dadurch, daß er den jüngsten EULER-Sohn aus dem Armeedienst nicht freigab, den Weggang der Familie EULER erschwert.

19) VIRCHOW stellte 1855 umfassend seine 'Zellulärpathologie' dar. "Im Kampf mit seiner Lehre (ROKITANSKYs Humoralpathologie - Anmerkung des Verfassers) wird der junge VIRCHOW groß, mit dem das Mikroskop das beherrschende Instrument des Pathologen wird" (ASCHOFF und DIEPGEN 1945, 46).

20) Am Beispiel der Entwicklung der Zellenlehre läßt sich besonders deutlich der Einfluß des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der physikalischen Optik auf die Medizin demonstrieren: HOOKE prägte in seiner 'Mikrographia' 1667 am Kork mit Hilfe eines primitiven Mikroskopes den Begriff der "celle". Aber erst im 19. Jahrhundert wurde nach der Vervollkommnung der Mikroskope die Zelle als das allgemeine Bauelement der tierischen und pflanzlichen Organismen durch Forscher wie SCHWANN, DUTROCHET, HENLE oder auch PURKINJE erkannt (ROTHSCHUH 1953, S. 59, 106, 148 und 162).

21) Nicolaus FUSS war nicht nur Schüler und Gehilfe EULERS, sondern mit seiner 'Lobrede auf Herrn Leonhard EULER' (1785) auch sein erster Biograph.

22) Wenn man die 'Anleitung zur Naturlehre' erst auf frühestens 1756 datiert (s. Anmerkung Nr. 12), dann gehört auch die Herleitung der EULERSchen Kontinuitätsgleichung in dieses Werk (O III, 168 bis 170). Die Schreibweise der Gleichung ist ihm entnommen.

23) Zur Schreibweise der Gleichung siehe Anmerkung Nr. 22. P, Q und R bedeuten die entlang den drei Raumkoordinaten gerichteten Kräfte. X, Y und Z sind die von den räumlichen Variablen x, y und z abhängigen Differentialquotienten der Geschwindigkeit in die drei Richtungen; die Zeit t ist hier konstant.

24) Die Erstausgabe des Werkes 'De christianismi restitutio' von 1553, das auch die Ausführungen über den Lungenkreislauf enthält, wurde mit ihrem Verfasser SERVETO zusammen auf dem Scheiterhaufen verbrannt (ASCHOFF 1938, 16 bis 18).

25) Die Aufzeichnungen über den Lungenkreislauf finden sich bei COLOMBO (latinisiert: COLUMBUS) in seinem Werk 'De re anatomica Libri XV', S. 322, 325 und 331, Paris: Wechel 1572. Die Erstausgabe erschien 1559 bei Benilacquas in Venedig.

26) HALLER hatte auch in direktem Briefwechsel mit EULER gestanden. Bei den vier Briefen an EULER und den zwei Briefen an HALLER, die auffindbar waren (O IV A 1, 170), handelte es sich vorwiegend um die in Augenschein genommene Neubesetzung einer vakanten Professorenstelle in Halle durch den in Göttingen lebenden HALLER. Physiologische Probleme wurden hier nicht diskutiert. Im Brief vom 4. Juli 1744 brachte EULER jedoch seine Hochachtung gegenüber den wissenschaftlichen Leistungen HALLERs zum Ausdruck, und es darf wohl angenommen werden, daß ihm HALLERs Arbeiten gut bekannt waren.

27) Sie ist die älteste Tochter des Markgrafen FRIEDRICH-HEINRICH von Brandenburg-Schwedt, eine entfernte Cousine von FRIEDRICH II. Ihren Namen gibt SPEISER (O III 11, VII) mit Friederike Charlotte Ludevica Luise an.

28) Sie sind zusammengefaßt in EULERS 'Dioptrica' (O III 3 bis 9).

29) Größeren Raum nimmt diese Thematik auch in den Briefen 199 bis 202 der 'Lettres à une princesse d'Allemagne' (O III 12, 176 bis 187) ein. FUSS (1785, LXXIV) hob die nach EULERS Berechnungen verfertigten optischen Apparate in seiner 'Lobrede' würdigend hervor.

30) Das Zitat stammt aus GOETHE'S 'Geschichte der Farbenlehre' (1808 bis 1810). Der ausführliche Wortlaut belegt die gute Kenntnis GOETHE'S von den Arbeiten EULERS zur Optik, so daß er hier angemerkt werden soll:

"EULER, einer von denjenigen Männern, die bestimmt sind wieder von vorn anzufangen, wenn sie auch in eine noch so reiche Ernte ihrer Vorgänger gerathen, ließ die Betrachtung des menschlichen Auges, das für sich keine apparanten Farben erblickt, ob es gleich die Gegenstände durch bedeutende Brechung sieht und gewahr wird, nicht aus dem Sinne und kam darauf, Menisken, mit verschiedenen Feuchtigkeiten angefüllt, zu verbinden, und gelangte durch Versuche und Berechnung dahin, daß er sich zu behaupten getraute, die Farbenerscheinung lasse sich in solchen Fällen aufheben, und es bleibe noch Brechung übrig" (GOETHE 1896, Bd. 43, S. 205).

Im übrigen nahm GOETHE EULERS optisches Opus ganz für seine Polemik gegen NEWTON in Anspruch.

31) "Die Schwere entsteht aus dem ungleichen Druck des Äthers, welcher in einer größern Entfernung von der Erde immer größer wird, daher die Körper stärker gegen die Erde als von derselben weggetrieben werden, und dem Überschusse dieser drückenden Kräfte ist das Gewicht des Körpers gleich" (O I 1, 149).

32) "Schall und Licht teilen sich uns aus ungleich größeren Fernen mit als die Eindrücke der übrigen Sinne, beyde pflanzen sich in gerader Linie fort, beyde können reflektiert werden. Herr EULER hält sich an diese Ähnlichkeit, und, indem er die Vergleichung weiterführt, zeigt er, daß das Licht aus einer zitternden Bewegung des Aethers entsteht, so wie die Ursache des Schalls in einer ähnlichen Bebung der Luft liegt..." (FUSS 1785, LXVI).

33) "Herr EULER geht von dem CARTESIschen Grundsatz aus, daß der Umlauf einer unendlich feinen und elastischen Materie durch die unmerklichen Canäle der magnetischen Körper die Ursache der sonderbaren Erscheinungen ist, welche jene uns darbieten. Er stellt sich die Poren des Magnets als so viele Öffnungen zusammenhängender paralleler und enger Röhrchen vor, die inwendig, so wie die Adern und Lymphatischen Gefäße des thierischen Körpers mit Klappen versehen sind. Diese engen Röhrchen, nimmt er an, lassen nur die in dem Aether befindliche und von seiner Schnellkraft fortgestoßene feine Materie durch, deren Rückkehr die Klappen hindern und die bei ihrem Ausfluß durch den Widerstand des Aethers gezwungen wird, sich zu beyden Seiten des magnetischen Körpers zu wenden, und außer demselben zu den ersten Öffnungen zurück zu kehren, wo sie von neuem durch den Aether hineingezwängt wird und auf diese Art den magnetischen Wirbel erzeugt, dessen Dasein durch die Bildung der Strahlen der auf ein über den Magnet gelegtes Papier gestreuten Eisenfeile sichtbar wird" (FUSS 1785, LXIV).

34) Derartige Bemühungen betrieben neben PIVATI (s. S. 129) auch andere Forscher: In seinen 'Tentamina electrica in diversis morborum generibus...' stellte SOCIN (1760) 9 elektrotherapeutische Verlaufsbeobachtungen zusammen und berichtete über Erfolg und Mißerfolg. Anregung und Betreuung dieser Versuche hatte sein Lehrer D. BERNOULLI, den er ausdrücklich erwähnt, offenbar im Zusammenhang mit dessen eigenen Versuchen über die Wirkung der Elektrizität auf lebende Organismen (s. S. 130) gegeben.

Der Name SOCIN war EULER im Zusammenhang mit Vorschlägen zur Neubesetzung einer Professorenstelle durch BERNOULLI 1757 bekannt geworden (IV A 1, 302/1781). In welchem Maße EULER bei der Abfassung seines 146. Briefes (1761) SOCINS 'Tentamina' kannte, läßt sich den vorliegenden Quellen nicht entnehmen. Nimmt man an, daß EULER als auswärtiges Mitglied der Basler Universität die 'Acta Helvetica' so schnell wie möglich beziehen konnte, dann wäre es denkbar, daß SOCINS Arbeit zu den Anregungen für EULERS 146. Brief gehören könnten.

35) Gestützt auf jüngste Forschungsergebnisse, hat Herr Dr. E. A. FELLMANN, Redaktor an der EULER-Edition Basel, nach Durchsicht der vorliegenden Arbeit dankenswerterweise einige interessante Anmerkungen mitgeteilt. Da sie noch vor dem Druck dieser Dissertation vorliegen, haben sie m.E. einen Anspruch darauf, im folgenden-den betreffenden Seitenzahlen folgend-angefügt zu werden:

13 (2.1.) "Meine eigene Angabe (1975) des Geburtsortes von EULER (St. Jakob an der Birs) ist falsch: Es wird höchstwahrscheinlich die Stadt Basel gewesen sein; das Geburts-
haus steht sicher nicht mehr."

14 '... nur kurze Zeit Theologie studiert': "EULER hat tatsächlich sein Theologiestudium abgeschlossen (heute wäre das etwa ein Lizentiat).
Für die Arbeit zur Schiffsbemastung hat EULER (leider) das 'Accessit' nicht erhalten. Ich weiß das erst seit ein paar Jahren und werde das auch im Gedenkband (EULER-Gedenkband 1983) richtigstellen."

17 "Heute steht fest, daß EULER sein rechtes Auge 1738 ver-
29 loren hat. Am linken erblindete er erst ganz nach der Star-
operation 1771." FELLMANN verweist hierbei auf eine Studie von R. BERNOULLI, die im EULER-Gedenkband 1983 erscheinen wird.

6. Literaturverzeichnis

- ABEL, K.: Die Lehre vom Blutkreislauf im Corpus hippocraticum.
Gesnerus 15, 71 - 105 (1958)
- ALFERJEW, M. J.: Hydromechanik. Leipzig: B. G. Teubner 1958
- Allgemeine Deutsche Biographie, Bd. VI, S. 422 - 430.
Berlin: Duncker & Humblot 1968
- ASCHOFF, L.: Über die Entdeckung des Blutkreislaufes.
Freiburg i. Br.: Hans Speyer 1938
- und DIEPGEN, P.: Kurze Übersichtstabelle zur Geschichte der Medizin. Berlin: Springer 1945
- BEHR, C. und BEST, F.: Die Pupille und ihre Reaktionsstörungen.
In: AXENFELD, Th.: Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde, S. 627. Jena: Fischer 1949
- BIEDL, A. und REINER, M.: Studien über Hirncirculation und Hirnödem. Pflügers Arch. 79, 158 - 194 (1900)
- BERNOULLI, D.: Dissertatio physico-medica de respiratione. Med. Diss. Basel 1721 (auch in: HALLER, A. v.: Disputationes anat. select. IV. Göttingen: Vandenhoeck 1750/1751)
- Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii. Argentorati: J. B. Dulsackeri 1738
- BERNOULLI, J. (I): De effervescentia et fermentatione. Med. Diss. Basel 1690. Zit. nach HUBER (1958)
- Dissertatio inaug. physico-anatomica de motu musculorum. Med. Diss. Basel 1694. Zit. nach HUBER (1958)
- Opera omnia, tam antea sparsim edita, quam hactenus inedita... Lausannae & Genevae: Bousquet & soc. 1742
- Dissertatio hydraulica de motu aquarum per vasa aut per canales quacunque figuram habentes fluentium. Pars prima, p. 3 - 49. Comm. Acad. Petrop IX (1737) 1747

- BERNOULLI, J. (I): *Dissertationis hydraulicae pars secunda, continens methodum directam et universalem solvendi omnia problemata hydraulica, quaecunque de aquis per canales cuiuscue figurae fluentibus formari ac propositi possunt.* Comm. Acad. Petrop. X, 207 - 260 (1747)
- BOPP, K.: Eulers und J.-H. Lamberts Briefwechsel. In: *Abhandlungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften*, S. 7 - 37. Berlin 1924
- BORELLI, G. A.: *De motu animalium*. 1680/1681. Nach der Ausgabe: *Die Bewegung der Tiere*. Übersetzt und mit Anmerkungen versehen durch H. MENGERINGHAUSEN. In: *Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften* Nr. 221. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1927
- BOULANGER, A.: *Études sur la propagation des ondes liquides dans les tuyaux élastiques.* Trav.mém.univ. Lille (2) II.2, (1913)
- BOWKER, R.M.: A translation and discussion of Daniel Bernoulli's work on elastic fluids in "Hydrodynamica". M.sc. thesis; Manchester Institute of Science and Technology, 1971 - 72
- BRAUNMÜHL, A.v.: Leonhard Euler. In: *Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften*. Bd. VII, S. 1 - 15. Hamburg und Leipzig: Voss 1908
- BUESS, H.: William Harvey and the foundation of modern haemodynamics by Albrecht von Haller. *Med. Hist.* 14, 175 - 182 (1970)
- BUSCH, H.R.: Leonhard Euler: Beitrag zur Musiktheorie. *Kölner Beiträge zur Musikforschung*, 58. Regensburg: Bosse 1970
- CALINGER, R.: Euler's "Letters to a Princess of Germany" as an expression of his mature scientific outlook. *Arch. Hist. exact. Sci.* 15, 211 - 233 (1976)

- CONDORCET, J. A. N. Marquis de: Eloge de M. EULER par le Marquis de CONDORCET. Histoire de l'Académie Royale des sciences 1783. Paris 1786. In: LEONHARDI EULERI Opera omnia, Ser. III, Vol. 12, pp. 287 - 310
- COLUMBUS, R.: De re anatomica Libri XV. p. 322, 325 et 331. Paris: Wechel 1572
- Aus der Anatomie des Realdo COLOMBO von Cremona. Anhang in: HARVEY, W.: Die Bewegung des Herzens und des Blutes, übersetzt und erläutert von E. Ritter v. TÖPLY. S. 106 - 120. In: Klassiker der Medizin Bd. 1. Leipzig: J. A. Barth 1910
- CURIESES DEL AGUA, A.: Historia de los des cubrimientos cardiovasculares, con especial consideracion de Miguel Servet y discusion de dos copias distintas del manuscrito arabe atribuido a Ibn al-Nafis. Gac. Méd. esp. 41, 273 - 279; 311 - 316; 365 - 371 (1967)
- DEBORIN, A. M. (Ed.): Leonhard Euler, 1707 - 1783. Moscow- Leningrad 1935
- DESCARTES, R.: Tractatus de homine. Figuris et latinitate donatus a Florentino SCHUYL. p. 19. Leyden: F. Noyarden, P. Leffen 1662
- DE WALE, J.: De motu chyli et sanguinis. Epistulae duae ad Th. BARTHOLINUM 1641. Nach der deutschen Übersetzung von B. J. GOTTLIEB. In: Klassiker der Medizin Bd. 33, S. 38. Leipzig: J. A. Barth 1942
- DIEPGEN, P.: Das physikalische Denken in der Geschichte der Medizin. Stuttgart: F. Enke 1939
- Die Hippokratiker und die Lehre vom Blutkreislauf. Münch. med. Wschr. 86, 299 - 301 (1939)
- Haben die Hippokratiker den Blutkreislauf gekannt? Klin. Wschr. 16, 1820 - 1823 (1937)

- und HEISCHKEL, E.: Die Medizin an der Berliner Charité bis zur Gründung der Universität.
Berlin: J. Springer 1935
- DU PASQUIER, G.: Léonhard Euler et ses amis. Paris 1927
- ENESTRÖM, G.: Der Briefwechsel zwischen Leonhard Euler und Johann I Bernoulli. Bd. I, II und III
Biblioth. Mathem., 3. Folge. Leipzig 1900 - 1902
- EULER, L.: Briefe an eine deutsche Prinzessin. Philosophische Auswahl, Hrsg. von G. KRÖBER. Leipzig: Reclam 1964
- Briefe über verschiedene Gegenstände aus der Naturlehre. Nach der Ausgabe der Hrn. CONDORCET und DE LA CROIX aus dem Französischen übersetzt von E. KRIES. Leipzig: Dyck 1792 bis 1794
- Opera omnia (LEONHARDI EULERI Opera omnia) sub auspiciis Societatis Scientiarum Naturalium Helvetica et (ab Series Quarta A) Academiae Scientiarum URSS. Series I - IV. Leipzig, Berlin: B. G. Teubner; Lausanne, Basel: Orell Füssli Turici; Basel: Birkhäuser 1911 - 1980
- Opera postuma mathematica et physica anno 1844 detecta edd. P.H. FUSS et N. FUSS. T. I et II. Petropoli: Eggers & Soc. 1862
- Rettung der Göttlichen Offenbarung gegen die Einwürfe der Freygeister. Berlin: Haude und Spener 1747. In: LEONHARDI EULERI Opera omnia. Ser. III. Vol. 12, pp. 267 - 286
- Tentamen novae theoriae musicae. A facsimile reprint of the 1739 St. Petersburg edition. New York: Bonde 1968

- EULER, L.: Vollständige Theorie der Maschinen, die durch Reaktion des Wassers in Bewegung versetzt werden. Erschienen 1754, hrsg. von E. A. BRAUER und M. WINKELMANN. In: Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 182. Leipzig: Engelmann 1911 (= LEONHARDI EULERI Opera Omnia, Ser. II, Vol. 15 - 17)
- FELLMANN, E. A.: Leonhard Euler. In: Die Großen der Weltgeschichte Bd. VI, S. 497 - 531. Zürich 1975
- FOSTER, M.: Lectures on the history of physiology. Cambridge: University Press 1901
- FRIEDRICH, K.: Hippokratische Untersuchungen. In: KIESSLING, A. und WILAMOWITZ-MOELLENDORFF, U.v. (Ed.): Philologische Untersuchungen. Heft 15. Berlin: Weidmann 1899
- FUETER, E.: Geschichte der exakten Wissenschaften in der Schweizerischen Aufklärung, 1680 - 1750. Aarau 1941
- FUETER, R.: Leonhard Euler. Bl. Math., Beiheft Nr. 3 (1948)
- FUSS, N.: Lobrede auf Herrn Leonhard Euler. Basel: J. Schweighausen 1785 (= LEONHARDI EULERI Opera omnia, Ser. I, Vol. 1)
- FUSS, P.H.: Correspondance mathématique et physique de quelque célèbres géomètres du XVIII^{ème} siècle. T. I. St. Pétersbourg: Typ. Acad. 1843
- FUCHS, R.: Hippokrates. Sämtliche Werke. Bd. 1-3. München: 1895-1900, Lüneburg 1895
- GAUER, O. H.: Kreislauf des Blutes. In: LANDOIS und ROSE-MANN: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. I, S. 119. München, Berlin: Urban & Schwarzenberg 1960
- GILLISPIE, Ch.C. (Ed.): Dictionary of Scientific Biography, Vol. IV, pp. 467 - 482. New York 1971
- GOETHE, J.W.v.: Sämtliche Werke. Leipzig: Ph. Reclam jr. 1896

GROTH, W.: Hydromechanik. Leipzig: Fachbuchverlag 1950

HALES, St.: Statical essays: containing haemostaticks.

London 1733. Nach der deutschen Ausgabe: Statik des Geblüts bestehend in neuen Erfahrungen an lebendigen Thieren ihres Blutes Bewegung zu erforschen nebst Versuchen am Nieren- und Blasenstein..., mit Hrn. von Sauvages Anmerkungen und Abh. von Entzündungen im menschl. Körper übersetzt. Halle: Renger 1748

HALLER, A. v.: Elementa physiologiae corporis humani. T. II.

Lausanne: Bousquet 1760

HARNACK, A.: Geschichte der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften, Bd. I - III. Berlin 1900

HARTUNG, C.: Zur Mechanik kleiner Blutgefäße. Biomed.

Techn. 17, 212 - 217 (1972)

HARVEY, W.: Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus. Francoforti: Fitzer 1628

Nach der deutschen Ausgabe: Die Bewegung des Herzens und des Blutes, übersetzt und erläutert von R. Ritter von TÖPLY. In: Klassiker der Medizin Bd. 1. Leipzig: J. A. Barth 1910

- Exercitationes anatomicae duae de circulatione sanguinis ad Ioannem Riolanum filium.

Roterdami 1649. Zit. nach Bibl. Anat. 2, 75 (1894)

HEATH, Th. L.: The two works of Archimedes. Cambridge 1897.

Nach der deutschen Fassung von KLIEM, F.: Archimedes Werke. Mit modernen Bezeichnungen hrsg. u.m.e. Einleitung versehen von Sir Thomas Little Heath. Berlin: Häring 1914

HEINE, L. und COMBERG, W.: Funktionsprüfung und Funktions-

störung. In: AXENFELD, Th.: Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde. S. 136. Jena: Fischer-Verlag 1949

- HEINEMANN, K.: Zur Geschichte der Entdeckung der roten Blutkörperchen. Janus-Bücher Nr. 43. München: Oldenbourg 1939
- HIPPCHEN, P.: Die Geschichte des Kreislaufs. Diss. Med. Köln 1950
- HIRSCHBERG, J.: Galen und seine zweite Anatomie des Auges. Berl. klin. Wschr. 56, 635 - 637 (1919)
- und LIPPERT, J.: Geschichte der Augenheilkunde bei den Arabern. In: GRAEFE, A. v. und SAEMISCH: Handbuch der gesamten Augenheilkunde. Bd. 13. Leipzig: Engelmann 1908
- HOME, R.W.: On two supposed works by Leonhard Euler on electricity. Arch. int. Hist. Sci. 25, 3 - 7 (1975)
- HOPPE, E.: Die Philosophie Leonhard Eulers. Gotha 1904
- HUBER, F.: Daniel Bernoulli als Physiologe und Statistiker. Med. Diss. Basel 1958
- HÜRZELER, H.: Robert Whytt (1714 - 1766) und seine physiologischen Schriften. Zürcher medizingeschichtliche Abhandlungen, neue Reihe, Nr. 96, S. 85. Zürich: Juris 1973
- HUMMEL, W.: Die Physiologie des Auges in der arabischen Medizin. Med. Diss. Münster 1948
- JAQUEL, R.: Les correspondances de Léonhard Euler (1707 - 1783), de son fils J. A. Euler (1734 - 1800) et de ses ami Jean III Bernoulli (1744 - 1807). Congr. nat. Spéc. sav., Fasc. 3, 69 - 78, Lille 1976
- JASCHNOFF, P.: Kepler-Handschriften und -Reliquiensammlung der Pulkower Sternwarte. Naturwissenschaften 18, 946 - 949 (1930)
- JUŠKEVIČ, A. P.: Leonhard Euler und die Universität Halle. Nova Acta Leopoldina, NF 27, Nr. 167, 367 - 378 (1963)

- JUŠKEVIČ, A. P. und WINTER, E. (Ed.): Die Berliner und die Petersburger Akademie der Wissenschaften im Briefwechsel Leonhard Eulers.
Teil 1: Der Briefwechsel L. Eulers mit G. F. Müller 1735 - 1767. Berlin: Akademie-Verlag 1959
Teil 2: Der Briefwechsel L. Eulers mit Nartov, Rasumovski, Schumacher, Teplov und der Petersburger Akademie 1730 - 1763. Berlin: Akademie-Verlag 1961
Teil 3: Wissenschaftliche und wissenschaftsorganisatorische Korrespondenzen 1726 - 1774. Berlin: Akademie-Verlag 1976
- Leonhard Euler und Christian Goldbach, Briefwechsel 1729 - 1764. Berlin: Akademie-Verlag 1965
- KAISER, W.: Johann Andreas Segner. In: Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. Bd. 31. Leipzig: B. G. Taubner 1977
- und KROSCH, K.-H.: Wissenschaftsbeziehungen Halle - Rußland aus medizinhistorischer Sicht. In: Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1967/4 (R 3), S. 44 Halle 1967
- KANT, I.: Gedanken von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte... Königsberg: Dorn 1746
- KAPFERER, R.: Der Blutkreislauf, die Art seiner Darstellung in den hippokratischen Schriften. Münch. med. Wschr. 86, 295 - 298 (1939)
- Die Werke des Hippokrates. Bd. 16. Stuttgart: Hippokrates-Verlag 1937
- KATNER, W.: Der Gedanke der Harmonie in der Physiologie des Barock. N. med. Welt 1, 544 - 547 (1950)
- KEPLER, J.: Dioptrik... Übers. und hrsg. von F. PLEHN. In: Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 144. Leipzig: Engelmann 1904

- KLOTZ, H.: Das Buch von der Orgel. Kassel, Basel, Paris, London, New York: Bärenreiter-Verlag 1965
- KOLB, W.: Geschichte des anatomischen Unterrichts an der Universität Basel 1460 bis 1900. S. 77 und 78. Basel: Schwabe 1951
- KOPELEVIČ, J. Ch.: Materialien zur Biographie Leonhard Eulers. In: Istorico-matematicheskiye issledovanija. Vyp. X. Moskau 1957
- KRÜGER, D.: Zur Sprachauffassung Leonhard Eulers. Z. Phonetik. Sprachwiss., Kommunikat. forsch. 29, 476 - 479 (1976)
- KUHN, Th.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt/M.: Suhrkamp 1967
- LAUE, M. v.: Geschichte der Physik. Bonn: Universitäts-Verlag 1947
- LITTRÉ, E.: Oeuvres complètes d'Hippocrate. Traduction nouvelle avec le texte grec en regard etc. Bd. 1, p. 222. Paris: J. B. Baillière 1839
- LULLIES, H.: Stimme und Sprache. In: LANDOIS, L. und ROSEMANN, R.: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2, S. 938 - 953. München, Berlin: Urban & Schwarzenberg 1962
- LÜTTEKEN, A.: Die Erregungsleitung im Nerven. Geschichte eines physiologischen Problems (bis 1800). Diss. Med. Münster 1950
- MALPIGHI, M.: De pulmonibus epistolae II ad Borellium. Bologna 1661
- METTE, A. und WINTER, I. (Ed.): Geschichte der Medizin. Berlin: Verlag Volk und Gesundheit 1968

MEYER-STEINEG , Th.: Die Vivisektion in der antiken Medizin.
Internat. Zschr. Wiss., Kunst u. Techn. 6,
1491 (1911)

- und SUDHOFF, K.: Geschichte der Medizin im Überblick. Jena: Fischer-Verlag 1950

MIKHAÏLOV, G.K.: Notizen über die unveröffentlichten
Manuskripte Leonhard Eulers. Moskau 1957.
In: SCHRÖDER, K. (Ed.): Sammelband zu Ehren
des 250. Geburtstages Leonhard Eulers der
Deutschen Akademie der Wissenschaften vorgelegten
Abhandlungen. Berlin: Akademie- Verlag 1959

MÜLLER, A.: Einführung in die Mechanik des Kreislaufs.
In: ABDERHALDEN, E. (Ed.): Handbuch der biologischen
Arbeitsmethoden. Abt. V. Teil 8,
S. 1 - 236. Berlin: Urban & Schwarzenberg 1935

NEWTON, I.: Philosophiae naturalis principia mathematica.
London: Guit & J. Innys 1687

NIGGEMEYER, H.: Historische Entwicklung in der Erforschung
der Grundphänomene der Herztätigkeit. Diss. med.
Münster 1949

PANCONCELLI-CALCIA, G.: Die Phonetik des Aristoteles.
Hamburg: Hansischer Gildenverlag 1942

- Phonetik als Naturwissenschaft. Berlin: Wissenschaftliche
Editionsgesellschaft 1948

- Quellenatlas zur Geschichte der Phonetik.
Hamburg: Hansischer Gildenverlag 1940

PEKARSKI, P.: Ekaterina II i Eyler. In: Zapiski imperatorskoi
akademii nauk, 6, 59 - 92 (1865)

PLEHN, F.: Johannes Kepler. Paralipomena ad Vitellionem
seu Astronomiae pars optica. Arch. Optik 75,
114 - 156 (1908)

POGGENDORFF, J.C.: Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften. Vol. I, pp. 689 - 706. Leipzig: Joh. Ambr. Barth 1863

Protokoly zasedany konferentsii imperatorskoi akademii nauk s 1725 - 1803 god, 4 vols. St. Petersburg 1897 - 1911

REICH, W.: Die Stimme. Ciba-Z. 54, 1790 - 1809 (1952)

ROBINS, B.: New principles of gunnery. London 1742

ROHR, M. v.: Kepler und seine Erklärung des Sehvorganges. Naturwissenschaften 18, 941 - 946 (1930)

ROSCHINSKY, J.: Galen und die Geschichte der Physiologie. Med, Diss. Münster 1948

ROTHSCHUH, K. E.: Der Begriff der "Physiologie" und sein Bedeutungswandel in der Geschichte der Wissenschaft. Arch. Internat. d'Hist. Sci. 2. 217 - 225 (1957)

- Die Entwicklung der Kreislauflehre im Anschluß an William Harvey. Klin. Wschr. 35. 605 - 612 (1957)

- Dynamische Momente in der Entfaltung der Wissenschaft, gezeigt an der Geschichte der Physiologie. Naturwiss. Rdsch. 14, 379 - 384 (1961)

- Geschichte der Physiologie. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer 1953

- Über Kreislaufschemata und Kreislaufmodelle seit den Zeiten von William Harvey (1578 - 1657). Z. Kreisl. Forsch. 46, 241 - 249 (1957)

- Meilensteine in der Erforschung von Herz und Kreislauf. In: BARGMANN, W. und W. DOERR: Das Herz des Menschen, pp. 20. Stuttgart: G. Thieme 1963

- ROTHSCHUH, K. E.: Von der Idee bis zum Nachweis der tierischen Elektrizität. Sudhoffs Arch. Gesch. Med. u. Nat. wiss. 44, 25 - 44 (1960)
- Wer ist groß und was ist bedeutend in der Geschichte der Wissenschaft? Naturwiss. Rdsch. 12, 45 - 52 (1959)
- SAUVAGES, F.B.: Anatomico-hydraulicae observationes de arteriarum pulsatione. Nova Acta Acad. Caes. Leop. Carol. 1, 128 - 340 (1757)
- Dissertation ou l'on recherche comment l'air, suivant ses différents qualités, agit sur le corps humain. p. 19. Bordeaux 1753
- Nosologia methodica sistens aegritudines morbos passiones ordine artificiali ac naturali. Castigavit emendavit... C. F. DANIEL. Lipsiae: Schwiekert 1790 - 1797
- SCHARF, J.-H.: Einführung in das Symposion an Hand zweier ungelöster Probleme: Zellteilungsenergie und Sprachproduktion. Gegenbaurs morph. Jahrb. 122, 309 - 324 (1976)
- SCHIEHORN, H.: Die Anatomen Meckel und das Schicksal ihrer letzten Ruhestätten. In: KAISER, W. und BEIERLEIN, CH.: In Memoriam Hermann Boerhaave (1668 bis 1738). Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1969/2 (R 10), 153 - 176. Halle (Sa.) 1969
- SCHIPPERGES, H.: Entwicklung moderner Medizin. Stuttgart, Gentner 1971
- SCHOPENHAUER, A.: Die Welt als Wille und Vorstellung. Bd. 2, S. 168 - 169. Leipzig: Philipp Reclam jr. o. J.
- SCHRÖDER, K. (Ed.): Sammelband der zu Ehren des 250. Geburtstages Leonhard Eulers vorgelegten Abhandlungen. Berlin: Akademie-Verlag 1959

- SERVETO, M.: De christianismi restitutio. In: ASCHOFF, L.:
Über die Entdeckung des Blutkreislaufes. S. 16 - 18.
Freiburg i. Br.: H. Speyer 1938
- SHRYOCK, R.: Die Entwicklung moderner Medizin. Stuttgart:
F. Enke 1947
- SIEVERT, C. W.: Die Physiologie bei Aristoteles. Med. Diss.
Münster 1948
- SMIRNOV, V. I. (Ed.): Leonhard Euler: Pisma k uchenym.
Moscow-Leningrad 1963
- SOCIN, A.: Tentamina electrica in diversis morborum generibus,
quibus accedunt levis electrometri Bernoulliani
adumbratio, et quorundam experimentorum instruendorum
ratio. Acta Helvetica 4, 214 - 230 (1760)
- SPEISER, A.: Die Basler Mathematiker. Basel: Helbing &
Lichtenhahn 1939
- Leonhard Euler und die deutsche Philosophie.
Zürich: Orell Füssli 1934
- SPIESS, O.: Leonhard Euler. Frauenfeld, Leipzig: Huber 1929
- und VERZÁR, F.: Eine akademische Festrede von
Daniel Bernoulli. Verh. Naturforsch. Ges.
Basel 52, 259 - 264 (1940/1941)
- STÄHELIN, J. R.: Dissertatio physico-medica de pulsibus.
Basel 1749. In: HALLER, A.v.: Disputationes
anat. selectae Vol. IV. Göttingen: Vandenhoeck 1750/
1751
- STENO, N.: De musculis et glandulis observationum specimen.
Florenz 1664. In: Bibl. Anat. 2, 527 (1894)
- Elementorum myologiae specimen seu musculi descriptio.
Florenz 1667. In: Bibl. Anat. 2, 532 - 552 (1894)
- STEUDEL, J.: Index zur Geschichte der Medizin und Biologie,
Bd, II. München-Berlin-Wien: Urban & Schwarzenberg 1966
- STICKER, G.: Zur Geschichte des Blutkreislaufes. Münch.
med. Wschr. 85, 258; 282 - 286 (1938)

STIEDA, E.: Die Übersiedlung Leonhard EULERS von Berlin nach St. Petersburg. Ber. Verh. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig, Phil.-Hist. Kl. B 83. H. 3. 1 - 62 (1931)

Subject Catalogue of the History of Medicine and related Sciences; Wellcome Institute for the History of Medicine and related Sciences London. München 1980

SUKHOMUNOV, M.J. (Ed.): Materialy dlja istorii imperatorskoi akademii nauk 1716 - 1760, 10 vols. St. Petersburg 1885 - 1900

TAUBERT, A.: Anfänge der graphischen Darstellung in der Medizin. Med. Diss. Kiel 1964

THIERSCH, H.: Zur Ikonographie Leonhard und Johann Albrecht Eulers. Sonderdruck aus den Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Phil.-Hist. Kl. 1929

TORICELLI, E.: De motu aquarum. Florence 1664. In: Opere di Evangelista Toricelli. Ed. in occasione del III centenario della nascita col concorso del Comune di Faenza da G. LORIA e G. VASSURA. pp. 101 - 249. Faenza: Montanari 1919

TRUEDELL, C. A.: Leonhard Euler, supreme geometer 1707 - 1783. In: PAGUARO, H. E. (Ed.): Irrationalism in the 18th century. Pp 51 - 96. Cleveland 1972

TRUEDELL, C. A.: Rational fluid mechanics 1687 - 1765. In: LEONHARDI EULERI Opera omnia, Ser. II. Vol. 12. pp. IX - CXXV. Lausanne: Orell Füssli Turici 1955

VOGEL, M.: Die Musikschriften Leonhard Eulers. In: LEONHARDI EULERI Opera omnia. Ser. III, Vol. 11, pp. XLIV - LX. Lausanne: Orell Füssli Turici 1960

WEBER, E. H.: Über die Anwendung der Wellenlehre auf die Lehre vom Kreislauf des Blutes und insbesondere auf die Pulslehre. Leipzig: Engelmann 1889

- WEBER, E. H. und WEBER, W.: Wellenlehre auf Experimente
begründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssig-
keiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen.
Leipzig: G. Fleischer 1825
- WEBER, W.: Theorie der durch Wasser oder andere incompressible
Flüssigkeiten in elastischen Röhren fortgepflanzten
Wellen. Ber. Verh. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig,
Math.-Physik. Kl. I, 353 - 357 (1866)
- WETTERER, E. und KENNER, Th.: Grundlagen des Arterienpulses.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1968
- WIEDEMANN, E.: Zu Ibn al Haitims Optik. Arch. Gesch.
Naturwiss. u. Techn. 3, 1 (1910)
- WINAU, R.: Herz und Kreislauf im Denken der Ärzte bis zum
Beginn des 17. Jahrhunderts. Herz Kreislauf 5,
149 - 155 (1973)
- WINTER, E. (Ed.): Die deutsch-russische Begegnung und
Leonhard Euler... Berlin 1958
- WINTER, E. (Ed.): Die Registres der Berliner Akademie der
Wissenschaften 1746 bis 1766. Berlin: Akademie-
Verlag 1957
- WOBMANN, P.: Albrecht von Haller, der Begründer der modernen
Haemodynamik. Arch. Kreisl. Forsch. 52, 96 - 128 (1967)
- WOLFF, C. F.: Theoria generationis (1759). Nach der deut-
schen Übersetzung in: Ostwald's Klassiker der
exakten Wissenschaften, Nr. 85. Leipzig:
Engelmann 1896
- YOUNG, Th.: Hydraulic Investigations subservient to an
intended Croonian Lecture on the Motion of the
Blood. Phil.trans. Roy. Soc. London. Part I,
164 - 186 (1808)

Danksagung

Es ist mir ein ehrliches Bedürfnis, neben dem einleitend den Herren Prof. Dr. G. Mann (Mainz) und Prof. Dr. mult. J.-H. Scharf (Halle/Sa.) ausgesprochenen Dank noch folgenden Personenkreis in meine Danksagung einzubeziehen:

Herrn Dr. rer. nat. habil. J. Peil (Halle/Sa.) für die sachkundige und geduldige Durchsicht des mathematischen Teiles der Arbeit, den vor der Endfassung auch Herr Dr.-Ing. H. Rudolph (Breckersfeld) noch einmal einer kritischen Prüfung unterzog.

Die Bibliothekare der Universitäts- und Landesbibliothek sowie der Bibliothek der Naturforscher "Leopoldina" Halle/Sa. und der Bibliothek des Medizinhistorischen Institutes der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Die beiden Damen, Frau Inge Heinrich und Frau Gitta Rudolph, die die teils aufwendigen Schreibarbeiten übernahmen.

Curriculum vitae

Kurz nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges wurde ich in Hartbeckerforst, einem kleinen, zur Gemeinde Buch am Erlbach in Niederbayern gehörenden Orte, am 16. Juni 1945 geboren. Im Zuge von Evakuierungsmaßnahmen hatte es meine Mutter zusammen mit ihrer knapp zweijährigen Tochter angesichts der näher rückenden Ostfront in diesen Flecken verschlagen. Der Vater, Lic. theol. Wilhelm Kunze, war in Ausübung seiner Pflichten als Vorsteher eines Diakonissenmutterhauses in Görlitz geblieben, und es sollte noch bis zum Frühjahr 1946 dauern, bis die durch meine Geburt nun größer gewordene Familie wieder im Heimatort vereint war.

Meine Schulbildung begann 1952 mit dem Eintritt in die Grundschule, deren Besuch ich mit der Reife für die Oberschule 1960 abschloß. An der Frédéric-Joliot-Curie-Oberschule in Görlitz legte ich dann 1964 das Abitur mit der Note "Sehr gut" ab und bewarb mich zum Medizinstudium an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Mit der Maßgabe, ein "praktisches Jahr" am Kreiskrankenhaus in Roßlau/Elbe zu absolvieren, wurde ich nach Ablegen einer Eignungsprüfung zum Studium angenommen, das ich dann im September 1965 aufnehmen konnte.

Es sei mir gestattet, aus der großen Anzahl meiner akademischen Lehrer willkürlich einige Persönlichkeiten zu nennen: Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Dr. hc. J.-H. Scharf, Anatomie; Prof. Dr. med. B. Luecken, Physiologie; Prof. Dr. med. H.-A. Freye, Biologie und Humangenetik; Prof. Dr. med. Dr. hc. K.-L. Schober, Chirurgie; Prof. Dr. med. Dr. phil. W. Kaiser, Innere Medizin und Geschichte der Medizin sowie Prof. Dr. med. W. Helbing, Gynäkologie und Geburtshilfe.

Im Frühjahr 1968 bestand ich das tentamen physicum und legte im August 1971 mit der Note "Gut" das Staatsexamen ab.

Nach dem Studium erhielt ich meine Ausbildung im Fach Gynäkologie und Geburtshilfe in Merseburg und Halle/Sa. Später arbeitete ich als Facharzt an Krankenhäusern in Berlin, Waldbröl und Duisburg.

Seit 1969 bin ich verheiratet und habe zwei Söhne.

